

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN

SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN TELEVISIE-ONTVANGER MET GEPROJECTEERD BEELD

I. DE PROJECTIE-OPTIEK

door P. M. van ALPHEN en H. RINIA.

621.397.62:535.881

In een reeks artikelen zullen verschillende onderdelen worden behandeld van een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, voor gebruik in de huiskamer. Van het eerste dezer artikelen, dat opent met een korte inleiding over televisie in het algemeen, wordt het onderwerp gevormd door de projectie-optiek. Philips past hiervoor een enigszins gewijzigd spiegelsysteem met een correctieplaat volgens Schmidt toe. De wijziging bestaat in hoofdzaak uit de toevoeging van een schuin geplaatste vlakke spiegel in de lichtweg tussen de holle spiegel en de correctieplaat. De zeer lichtsterke optiek (numerieke apertuur 0,64, bij een 8,7-voudige vergroting) is vrij van beeldfouten van de derde orde op de beeldveldkromming na. Deze laatste is onschadelijk gemaakt doordat het venster van de kathodestraalbuis op een bepaalde wijze is gekromd. Men verkrijgt aldus een geheel scherp beeld op een vlak projectiescherm. Dit beeld is even helder als een bioscoopbeeld en zo groot ($32 \times 40 \text{ cm}^2$), dat 6 tot 8 personen het gemakkelijk kunnen waarnemen in een vertrek met normale of iets gedempte verlichting. Dank zij de compacte bouw van het optische gedeelte en van andere, later te bespreken onderdelen kan de apparatuur worden ondergebracht in een kast met zeer redelijke afmetingen.

In 1939 had de televisie-techniek een zodanig stadium van ontwikkeling bereikt dat reeds verscheidene zenders regelmatig een televisieprogramma uitzonden en ontvangtoestellen hiervoor in de handel waren. Na de oorlog is deze tak van het omroepbedrijf tot nieuw leven gekomen. Het aantal regelmatig werkende zenders breidt zich geleidelijk uit; het bedraagt op het ogenblik ettelijke tientallen (het merendeel dezer zenders bevindt zich in de Verenigde Staten; in Europa is er één te Londen en één te Parijs). Bovendien zijn er verscheidene zenders met een min of meer experimenteel karakter (o.a. een te Eindhoven). Met het groeiende aantal zenders zal uiteraard de vraag naar televisie-ontvangers toenemen. Het is aan enkele belangrijke punten in de ontwikkeling van deze ontvangtoestellen dat wij in dit tijdschrift een reeks artikelen willen wijden. Wellicht is het dienstig, alvorens met het eerste dezer artikelen aan te vangen, in het kort het principe der huidige televisie in herinnering te brengen ¹⁾.

Het „oog” van de zender is de zg. iconoscoop ²⁾

of het daarmee verwante orthicon, op welks „netvlies” een beeld van het uit te zenden tafereel wordt ontworpen. Een elektronenbundel tast dit „netvlies” periodiek af, ten gevolge waarvan een reeks stroomstoten ontstaan die in amplitude met de helderheid van de achtereenvolgens bestreken beeldpunten corresponderen. Deze stroomstoten, het zg. videosignaal, moduleren de zender.

In de ontvanger past men als lichtbron een kathodestraalbuis toe, waarin een elektronenbundel, evenals in een oscillograafbuis, een lichtvlekje op een luminescerend scherm doet ontstaan. De bundel tast het beeldvlak periodiek af, synchroon met de bundel aan de zendzijde. De stroomsterkte in de bundel wordt daarbij gevarieerd volgens de modulatie van het ontvangen videosignaal. Aldus ontstaan op de achtereenvolgens doorlopen punten van het scherm helderheidsvariëaties, welke over-

¹⁾ Zie bijv. J. van der Mark, Een experimentele televisie-zender en -ontvanger, Philips techn. T. 1, 16-21, 1936.

²⁾ Zie bijv. het in noot ¹⁾ aangehaalde artikel, in het bijzonder blz. 18.

eenstemmen met die van het uitgezonden beeld.

Teneinde het synchronisme tussen de electronenbundel in de zender en die in de ontvangers te handhaven, worden, behalve het eigenlijke videosignaal, ook speciale synchroniseersignalen uitgezonden.

De televisie-ontvangers die in de jaren 1936-1940 op de markt werden gebracht, waren voor het overgrote gedeelte voor „direct zicht” ingericht, dwz. dat men rechtstreeks het beeld waarneemt dat op het luminescerende buisvenster verschijnt ³⁾. De buizen voor direct zicht, vooral de grote typen met een schermdiameter groter dan ca 30 cm, zijn kostbaar en moeilijk te hanteren. Om deze grote ballons de nodige sterkte te verlenen (op een buisvenster met 39 cm middellijn oefent de atmosfeer een kracht uit van ver over de 1000 kg!), moet men het buisvenster of zeer dik maken of het een vrij sterke kromming geven. Deze kromming vervormt het waargenomen beeld, zodat de nuttige venstergrootte niet in evenredigheid is met de afmetingen van de buis. Tegen het gevaar van implosie zijn beveiligingsmaatregelen nodig. De buislengte — die ongeveer evenredig met de schermdiameter toeneemt — vereist afmetingen van de kast welke moeilijk te verenigen zijn met een aesthetisch uiterlijk.

Al deze bezwaren, die optreden als men tot flinke beeldafmetingen wil overgaan en die men reeds vroegtijdig inzag, worden vermeden — of althans belangrijk verminderd — bij de projectiemethode. Hierbij wordt het kleine beeld dat op het venster van de eveneens kleine kathodestraalbuis verschijnt, langs optische weg op een scherm vergroot geprojecteerd. Uiteraard is dit de enige weg, als men televisie zichtbaar wil maken voor een talrijk publiek, bijv. in een theater. Maar ook reeds in de huiskamer — en het is uitsluitend over hiervoor bestemde toestellen dat wij in deze artikelenreeks willen spreken — is het een groot gemak te beschikken over een beeld met zodanige afmetingen dat 6 tot 8 toeschouwers het beeld zonder moeite kunnen waarnemen zonder daarbij strikt aan hun plaats te zijn gebonden. Reeds in 1937 bracht Philips een buis, bestemd voor projectie-ontvangst, in de handel ⁴⁾. Sindsdien heeft dit projectiesysteem een belangrijke ontwikkeling doorgemaakt.

In het onderstaande wordt de optiek beschreven, die het beeld van ca $3,6 \times 4,6 \text{ cm}^2$ dat op het buisvenster ontstaat, als een helder, scherp en vlak beeld van $32 \times 40 \text{ cm}^2$ op een scherm projecteert. Dank zij de kleine afmetingen van de buis en de bijzondere uitvoering van de optiek is het gelukt de gehele apparatuur onder te brengen in een kast van slechts middelmatige grootte (zie fig. 1, waarvan het onderschrift verschillende bijzonderheden vermeldt).



Fig. 1. Toestel type SG 860 A, voor televisie-ontvangst met geprojecteerd beeld en tevens voor gewone omroepontvangst. Met de drie knoppen vóór het televisiescherm regelt men (in de volgorde van links naar rechts) de scherpste van het beeld, de helderheid er van en het contrast tussen licht en donkere partijen. De vijf knoppen onder de stationsschaal dienen resp. voor de regeling van de selectiviteit en van de geluidssterkte, voor het omschakelen van gewone omroep op gramfoon of televisie, voor de afstemming en voor de keuze van de golfband. Achter het doek onder deze rij knoppen bevindt zich de hoofd-luidspreker. Kleine extra-luidsprekers, aangebracht ter weerszijden van het scherm, doen alleen dienst tijdens televisie-ontvangst. Het scherm kan neergeklapt blijven als men geen televisie-uitzending ontvangt.

Spiegels of lenzen?

Om het beeld dat op het venster van de kathodestraalbuis verschijnt, op een scherm te projecteren, kan men zich bedienen van hetzij holle spiegels, hetzij lenzen, hetzij een combinatie van deze beide elementen. Waardoor zal onze keuze worden bepaald?

³⁾ Zie bijv. G. Heller, Televisie-ontvangtoestellen, Philips techn. T. 4, 358-366, 1939, in het bijzonder fig. 13. — Onder „rechtstreekse waarneming” verstaan we hier ook de waarneming van het beeld via een vlakke, schuin opgestelde spiegel, waarbij de kathodestraalbuis met haar as verticaal is geplaatst — een constructie die in sommige kastmodellen wordt toegepast.

⁴⁾ M. Wolf, Televisie-ontvangst met geprojecteerd beeld, Philips techn. T. 2, 249-253, 1937.

Laten we eerst enige voordelen van spiegels in het algemeen opnoemen. In de eerste plaats vertonen deze geen chromatische aberratie. Voorts is de sferische aberratie van een spiegel kleiner dan die van een lens met dezelfde diameter en brandpuntsafstand. Dit heeft tot gevolg dat men, bij een gegeven toegelaten aberratie, spiegels kan gebruiken met een grotere openingsverhouding (d.i. grotere lichtsterkte) dan lenzen. Tevens kan men lichtsterke spiegels betrekkelijk gemakkelijk vervaardigen. Terwijl de middellijn van een lens beperkt is tot omstreeks 50 cm, zijn spiegels met 1,50 m middellijn heel gewoon, bijv. voor zoeklichten. Een vergelijking van de prijs van een lens en die van een spiegel met overeenkomstige prestatie valt ten voordele van de laatstgenoemde uit; de spiegel bezit immers slechts één geslepen en gepolijst oppervlak en behoeft niet uit zg. optisch glas te worden vervaardigd. De astronomen geven dan ook in het algemeen de voorkeur aan spiegels — getuige bijv. de Mount Palomar Sterrenwacht, waarvan de spiegel met 5 m middellijn alle ooit gemaakte lenzen in grootte verre overtreft.

Doch geheel zonder nadeel zijn de spiegels, vergeleken met de lenzen, niet. Doordat zij het licht terugkaatsen, komt het beeld of het voorwerp te liggen in de gang der lichtstralen, die aldus min of meer worden onderschept. Om deze reden hebben spiegels weinig ingang gevonden in de fotografie en bij het projecteren van films, waar men de voorkeur geeft aan lichtsterke lenzen. Ook bij het ontwerpen van een projectie-optiek voor televisie woog dit nadeel aanvankelijk vrij zwaar, maar door een bijzondere plaatsing der onderdelen, waarop wij aanstonds terugkomen, is aan dit bezwaar zover tegemoet gekomen dat de voordelen van een spiegel boven een lens er ruimschoots tegen opwegen.

Het spiegelsysteem met correctieplaat volgens Schmidt

Wij brengen in herinnering dat een sferische spiegel, evenals een lens, behept is met een aantal afbeeldingsfouten⁵⁾. Beperken we ons tot die van de derde orde, dan zijn deze fouten te onderscheiden in sferische aberratie, coma, astigmatisme, vertekening en beeldveldkromming. In het aangehaalde artikel⁵⁾ werd aangetoond dat een diafragma ter plaatse van het krommingsmiddelpunt van de spiegel een aantal dezer fouten opheft, zodat men slechts de sferische aberratie en de beeldveldkromming overhoudt. Voorts werd vermeld dat

van deze beide resterende fouten de sferische aberratie kan worden opgeheven met behulp van een zg. correctieplaat volgens Schmidt, die nader werd besproken in een afzonderlijk artikel⁶⁾. Hierin werd uitvoerig ingegaan op een bij Philips ontwikkelde vervaardigingswijze van zulke correctieplaten, die bijzonder eenvoudig en goedkoop is. De correctieplaat bestaat volgens deze methode uit een laag gelatine, aangebracht op een vlakke glazen plaat en voorzien van het gewenste profiel.

De enige beeldfout (afgezien van die van hogere orde, die minder belangrijk zijn) is dan de beeldveldkromming: een vlak voorwerp wordt scherp afgebeeld op een bolvormig gekromd oppervlak. Doch dit betekent dat omgekeerd een op bepaalde wijze gekromd voorwerp vlak zal worden afgebeeld. Indien we het venster van de kathodestraalbuis een bepaalde kromming geven, zal de afbeelding hiervan dus vlak zijn, zodat we inderdaad op een vlak scherm een scherp beeld te zien kunnen krijgen. Dit zal nader zal ter sprake komen in een volgend artikel, dat speciaal over de kathodestraalbuis gaat.

Veranderingen aangebracht in het systeem van Schmidt

Schmidt heeft destijds zijn systeem ontwikkeld voor het fotograferen van de sterrenhemel. De af te beelden voorwerpen vormden dus geen hinderpaal in de gang der lichtstralen, wat daarentegen wel het geval was met de fotografische film of plaat. Juist andersom is het in ons geval van de televisieprojectie. Daar staan wij voor de vraag, de kathodestraalbuis zodanig aan te brengen dat het venster van deze buis, dat hier het lichtgevende voorwerp is, op de juiste plaats tussen de spiegel en de correctieplaat komt te staan en er zo weinig mogelijk licht wordt onderschept of op andere wijze verloren gaat. De plaatsing wordt nog bemoeilijkt doordat de anode van de buis een hoge spanning ten opzichte van aarde heeft (25 kV) en doordat de buis zelf is omgeven door spoelen, die de focussing en de afbuiging van de elektronenbundel bewerkstelligen.

Een voor de hand liggende constructie is aangegeven in fig. 2, waarbij de hals van de buis, met de spoelen, door een opening in de correctieplaat is gestoken. Ook als de buis kort genoeg was om haar geheel tussen de spiegel en de correctieplaat te kunnen bergen, zou het middelste gedeelte van de correctieplaat in de schaduw van de buis staan. Dat dit gedeelte in fig. 2 is verwijderd om de hals

⁵⁾ Zie bijv. W. de Groot, Optische fouten bij afbeelding door lenzen en spiegels, Philips techn. T. 9, 301-308, 1947 (No. 10).

⁶⁾ H. Rinia en P. M. van Alphen, De vervaardiging van correctieplaten voor Schmidt-optieken, Philips techn. T. 9, 349-356, 1947 (No. 12).

door te laten, is dus geen extra nadeel. Wel is dit het geval met het onderscheppen door de buis van sommige stralen die van de rand van het beeld uitgaan en de buis of de spoelen zijdelings treffen (zie fig. 2). Men kan dit effect weliswaar verminderen

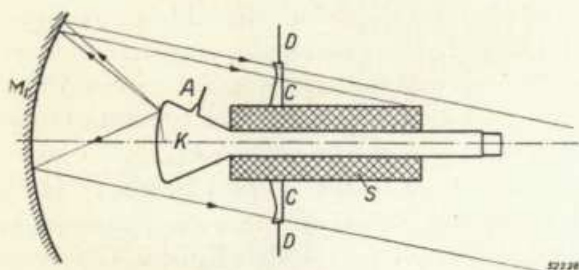


Fig. 2. Eenvoudige projectie-optiek voor televisie, waarbij echter veel licht wordt onderschept. K = kathodestraalbuis met anode-aansluiting A en focuserings- en afbuigspoelen S , M_1 = sferische spiegel, C = correctieplaat volgens Schmidt, D = diafragma. (In de fig. 2-5 zijn de uit-tredende stralen gemakshalve evenwijdig getekend. In werkelijkheid convergeren zij naar een punt op het projectiescherm, dat zich op betrekkelijk grote afstand bevindt.)

door er voor te zorgen dat deze stralen een kleinere hoek met de as insluiten, dus door de brandpuntsafstand groter te kiezen. Dit zou echter, bij een gegeven openingsverhouding (op dit begrip komen wij aanstonds terug), leiden tot een grotere spiegelmiddellijn, en deze op haar beurt tot een grotere kast. Slechts daar waar men in de ruimte niet beperkt is, zal men deze oplossing kunnen aanvaarden, bijv. bij televisieprojectie in een theater.

Als constructief bezwaar tegen de centrale opening in de correctieplaat zij nog genoemd dat de aanwezigheid van dit gat het centreren van de plaat zeer bemoeilijkt. Op een eenvoudige oplossing voor het centreren van een niet-doorboorde plaat komen wij later te spreken.

Een methode die de zijdelingse schaduwwerking van de buis radicaal vermijdt, toont fig. 3. Het buisvenster bevindt zich hier in een centraal gat in de holle spiegel. De van het venster uitgaande stralen bereiken deze spiegel na te zijn terugge-

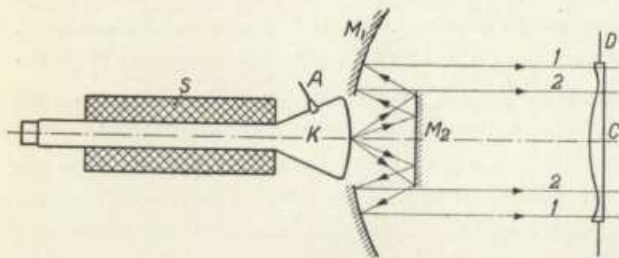


Fig. 3. Gewijzigde opstelling, waarbij de lichtstralen de holle spiegel bereiken via de vlakke spiegel M_2 . De middellijn van deze laatste is hier zo gekozen dat de stralen 1 die van het midden van het buisvenster uitgaan en aan de rand van M_2 worden teruggekaatst, juist nog door de rand van de correctieplaat C worden doorgelaten.

kaatst door een vlakke spiegel (M_2). Aan de afmetingen van de buis en de spoelen worden nu geen beperkingen opgelegd, daar zij zich buiten de lichtweg bevinden. Doch nu doet zich een nieuwe moeilijkheid voor: hoe groot moet men de vlakke spiegel maken? Laten wij eerst eens alleen op de stralen die van het midden van het venster uitgaan. In fig. 3 heeft de vlakke spiegel een zodanige afmeting dat de stralen 1 die zijn rand treffen, ook juist nog door de rand van de correctieplaat gaan. Beschouwen wij nu stralen die de rand van het venster uitzendt en die de vlakke spiegel opvangt (bundel tussen 3 en 5 in fig. 4), dan zien wij dat deze gedeeltelijk buiten de correctieplaat vallen en dus door het diafragma worden tegengehouden (bijv. 4 en 5). De van dit randpunt uitgaande nuttige bundel is derhalve nauwer dan die uit het midden. In het beeld op het projectiescherm komt dit tot uiting in een zg. vignettering, dwz. de lichtintensiteit is in de hoeken geringer dan in het midden. Aan dit verschijnsel kan men tegemoet komen door de vlakke spiegel groter te maken, doch dan wordt meer licht onderschept (o.a. de stralen 2 in fig. 3). Een bevredigend compromis is hier eigenlijk niet te vinden.

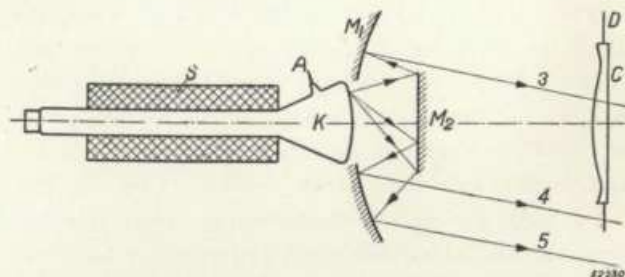


Fig. 4. Dezelfde opstelling als in fig. 3, waarin echter nu enkele stralen zijn getekend die uitgaan van de rand van het beeld op de kathodestraalbuis. Stralen als 4 en 5 vallen buiten de correctieplaat.

Ten slotte zij nog opgemerkt dat een systeem volgens fig. 3 het nadeel heeft, langer te zijn dan een volgens fig. 2.

In de Philips-optiek voor televisie-projectie (fig. 5) wordt eveneens een vlakke spiegel toegepast, maar deze maakt een hoek van 45° met de as van de holle spiegel. Optisch gesproken bevindt hij zich niet, zoals in fig. 3, tussen buisvenster en holle spiegel, maar tussen holle spiegel en correctieplaat. De kathodestraalbuis steekt met haar venster door een opening in de vlakke spiegel. Dit venster en deze opening doen stralen die van het midden uitgaan, nagenoeg in dezelfde mate verloren gaan als stralen welke van de randen afkomstig zijn. Vignettering treedt dan ook in veel geringere mate op dan bij een opstelling volgens fig. 3; zijdelings neemt de buis geen licht weg (vgl. fig. 2), daar zij

zich achter de spiegel bevindt, waar ruimte is voor de spoelen en voor bevestiging, aansluitingen, enz.

De lichtweg is als het ware opgevouwen, zodat de bouw van het toestel zeer compact kan worden

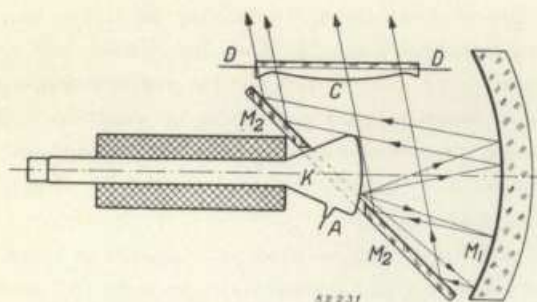


Fig. 5. De in de Philips-optiek gebruikte opstelling. De vlakke spiegel M_2 bevindt zich in de lichtweg tussen de holle spiegel en de correctieplaat en maakt een hoek van 45° met de as van de kathodestraalbuis.

(fig. 6). De kathodestraalbuis kan met de gehele optiek in een stofdicht afgesloten doos worden ondergebracht. Het buisvenster, de beide spiegels en de gelatinezijde van de correctieplaat blijven dus schoon. Alleen de vlakke glazen buitenzijde van deze plaat kan stoffig worden, maar het schoonmaken er van is al zeer eenvoudig en levert geen gevaar op voor ontregeling van de instelling. De plaats van de optiek in het ontvangtoestel blijkt uit fig. 7.

Een tweede vlakke spiegel, die is bevestigd tegen de binnenzijde van het schuin staande kastdeksel (fig. 1 en 7), werpt de uit de optiek tredende lichtbundel op het projectiescherm.

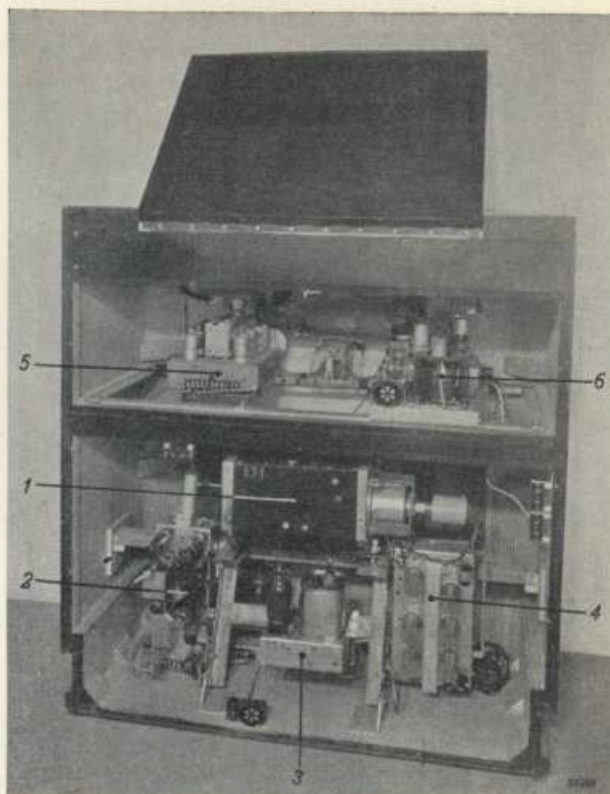


Fig. 7. Het inwendige van het ontvangtoestel SG 860 A (vergelijk fig. 1), van achteren gezien.

1 is het optische gedeelte (vergelijk fig. 6),
2 de apparatuur voor de afbuiging van de elektronenbundel,
3 de hoogspanningsapparatuur (25 kV),
4 de televisie-ontvanger (beeld en geluid),
5 de ontvanger voor de gewone omroep,
6 de bijbehorende gelijkrichter.

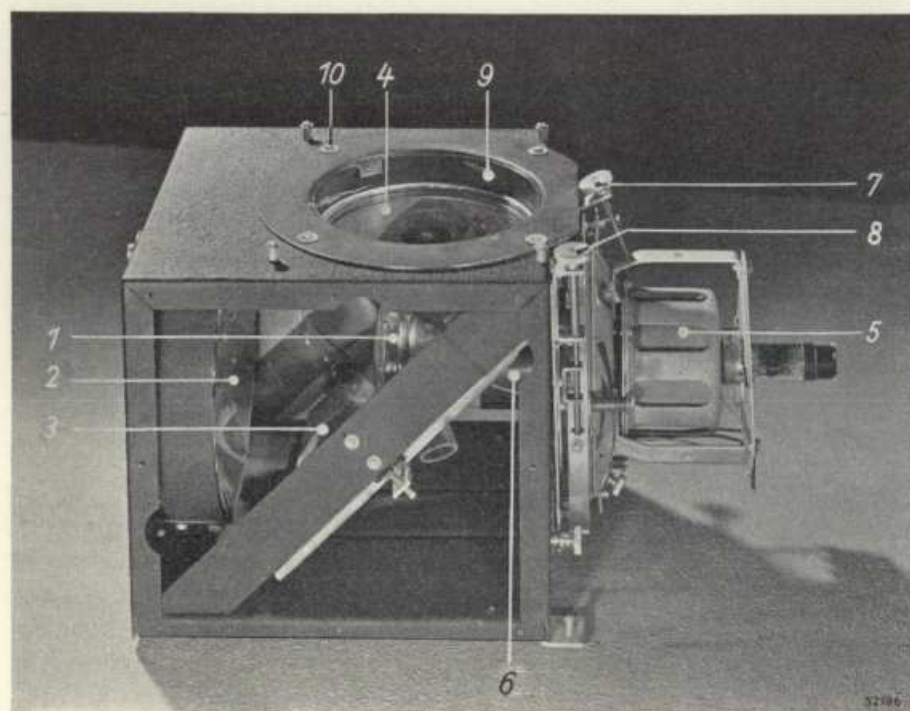


Fig. 6. De Philips-optiek voor projectie van televisie (één wand weggelaten). 1 is het venster van de kathodestraalbuis, 2 de holle spiegel, 3 de vlakke spiegel, 4 de correctieplaat, 5 de focuserings spoel, 6 de deflectiespoelen, 7 een der stelschroeven voor het richten van de as der kathodestraalbuis, 8 de stelschroef voor het regelen van de afstand buisvenster-holle spiegel, 9 schroeven waarmee de houder van de correctieplaat wordt vastgezet, nadat deze op de goede hoogte is gebracht, 10 schroeven ten opzichte van welke de rand van de correctieplaat houder enige speling heeft, die nodig is voor het centreren.

Kenmerkende grootheden van een Schmidt-systeem

Wij willen hier even ingaan op de vraag, welke grootheden kenmerkend zijn voor een Schmidt-optiek. Deze komen van pas in de volgende paragraaf, die over de dimensionering van de optiek gaat.

In de eerste plaats is zulk een grootheid de brandpuntsafstand, waaruit de voorwerps- en de beeldafstand volgen welke men voor een bepaalde vergroting nodig heeft. Ook de vergroting is zulk een kenmerk. Evenals een parabolische spiegel slechts voor één voorwerps- of beeldafstand — namelijk oneindig — een goede afbeelding geeft, is een gegeven Schmidt-systeem geschikt voor slechts één zulk een afstand, dus voor één bepaalde vergroting⁷⁾. Zou men het systeem met een andere

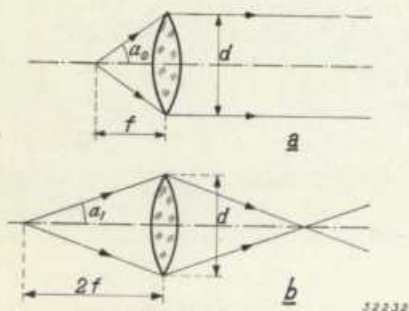


Fig. 8. a) Enkelvoudige lens met lichtbron in het brandpunt, afbeelding in het oneindige. Onder de openingsverhouding verstaat men $d/f = 2 \operatorname{tg} a_0$.

b) Dezelfde lens bij afbeelding op ware grootte. De lichtsterkte is nu bepaald door $d/2f = 2 \operatorname{tg} a_1$.

vergroting gebruiken, dan was de sferische aberratie niet meer volkomen opgeheven. Het is dan ook gewenst bij iedere correctieplaat niet alleen de kromtestraal van de bijbehorende spiegel op te geven, maar ook de vergroting waarvoor zij is berekend, te meer daar uit de vorm van een gegeven exemplaar deze vergroting niet gemakkelijk is af te leiden.

Voorts is ook de lichtsterkte een belangrijk gegeven van een optiek. Bij lenzen drukt men deze gewoonlijk uit door de openingsverhouding. In het geval van een enkelvoudige lens verstaat men hieronder de verhouding van de diameter d van de lens (of eventueel van het diafragma) tot de brandpuntsafstand f . Noemt men $2a$ de tophoek van de stralenkegel die de lens van een op de as geplaatst lichtpunt opvangt, dan is de openingsverhouding $d/f = 2 \operatorname{tg} a_0$, indien het lichtpunt zich in het brandpunt bevindt (waar a de waarde a_0 heeft; fig. 8a), zodat het beeld op oneindig grote afstand wordt gevormd. Stelt men zich de loop der lichtstralen

omgekeerd voor, dan krijgt men de toestand die zich bij de fotografie voordoet, indien de voorwerpsafstand als oneindig kan worden beschouwd, hetgeen vaak het geval is. Wanneer men echter een voorwerp van dichtbij fotografeert, bijv. zo dat het op ware grootte wordt afgebeeld (fig. 8b), dan wordt de lichtsterkte bepaald door een hoek $a_1 < a_0$ (in casu is $\operatorname{tg} a_1 = \frac{1}{2} \operatorname{tg} a_0$). In overeenstemming hiermee moet bij het fotograferen van een nabij voorwerp langer worden belicht dan wanneer op oneindig was ingesteld (bij overigens dezelfde omstandigheden).

Hieruit blijkt dat men bij de opgegeven waarde van d/f feitelijk de gebruikte voorwerps- of beeldafstand behoort te vermelden (of, wat op hetzelfde neerkomt, de vergroting). Bovendien is in feite niet $\operatorname{tg} a$, die men dan hieruit zou kunnen afleiden, doch $\sin a$ een rechtstreekse maat voor de lichtsterkte. Bij betrekkelijk lichtzwakke optieken, zoals die van de gebruikelijke fototoestellen, is a zo klein dat het verschil tussen $\operatorname{tg} a$ en $\sin a$ geen gewicht in de schaal legt, doch bij de zeer grote lichtsterkten die men met het Schmidt-systeem kan bereiken, is dit verschil wel van belang. Het gebruik van de grootheid $\sin a$, ook wel numerieke apertuur genoemd, is bij microscopobjectieven reeds lang ingeburgerd. Het lijkt ons aanbevelenswaardig deze grootheid ook voor Schmidt-optieken in te voeren, te meer daar $\sin^2 a$ het lichtvangvermogen van de optiek is voor een voorwerp dat straalt volgens de cosinuswet van Lambert (onder lichtvangvermogen verstaat men het breukdeel dat de binnentredende hoeveelheid licht

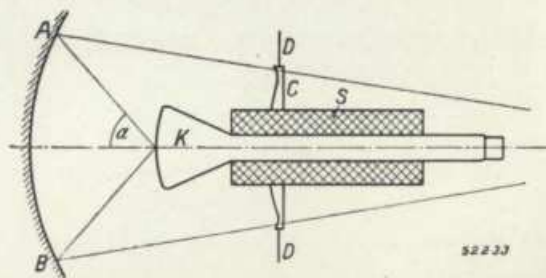


Fig. 9. Onder de numerieke apertuur van een Schmidt-systeem verstaat men $\sin a$, waarbij a , in het geval van een optiek voor televisieprojectie, de halve tophoek is van de breedste stralenkegel die uitgaat van het midden van het beeldvenster en, na terugkaatsing op de holle spiegel, door de rand van de correctieplaat treedt.

uitmaakt van de totaal door het voorwerp uitgezondene). Onder de hoek a heeft men dan te verstaan de halve tophoek van de kegel gevormd door stralen die van het midden van het beeldvenster uitgaan en verderop juist nog door de rand van de correctieplaat gaan (zie fig. 9, waar het Schmidt-

⁷⁾ Afgezien van de reciproke waarde, die behoort bij de omgekeerde richting der lichtstralen.

systeem gemakshalve in de eenvoudige vorm van fig. 2 is voorgesteld).

Aangenomen is hierbij uiteraard dat de holle spiegel groot genoeg is om deze stralen te reflecteren, dus dat zijn rand minstens de middellijn AB heeft (fig. 9). Een nog grotere spiegel betekent echter geenszins een grotere numerieke apertuur. Het is dan ook onjuist de middellijn van deze spiegelrand als maatstaf voor de lichtsterkte te gebruiken, zoals wel wordt gedaan. Dit neemt niet weg dat het toch wel zin heeft, de spiegel groter dan AB te kiezen, aangezien dit de situatie verbetert voor stralen die uitgaan van de rand van het beeld op de kathodestraalbuis, zodat de vignettering vermindert.

Ten slotte dient nog als kenmerkende grootheid van een optiek de verliesfactor te worden genoemd, een getal dat aangeeft welk breukdeel van de hoeveelheid licht die de optiek binnentreedt, verloren gaat door onderschepping, onvolkomen reflectie en absorptie.

Dimensionering van de optiek

Alle afmetingen van de optiek hangen ruwweg lineair samen met de brandpuntsafstand. In het streven, de grootte van de kast zoveel mogelijk te beperken, zal men dus geneigd zijn de brandpuntsafstand klein te kiezen. De kathodestraalbuis stelt hier echter een onderste grens. Men kan deze buis niet willekeurig klein maken, daar men rekening moet houden o.a. met de vraag of een nog voldoende fijne lichtvlek kan worden verkregen. Weliswaar zou men kunnen werken met een geringe vergroting, doch dit ware onvoordelig, daar de buis, die dan naar verhouding groot is, veel licht zou onderscheppen. Wat dit laatste aangaat, kan men als praktische regel aannemen dat de middellijn van het buisvenster ten hoogste ongeveer half zo groot mag zijn als de middellijn van de correctieplaat, zodat er maximaal $\frac{1}{4}$ van het licht wordt onderschept.

De hier volgende globale berekening heeft ten doel de samenhang te laten zien tussen de gewenste grootte en helderheid van het projectiebeeld enerzijds, de diameter en de lichtstroom van de kathodestraalbuis benevens enkele gegevens van de optiek anderzijds.

Ons uitgangspunt is de grootte van het projectiebeeld ($32 \times 40 \text{ cm}^2$, oppervlak $0,128 \text{ m}^2$) en de helderheid, die wij om te beginnen eens even groot verlangen als die van een goed bioscoopbeeld (ca 32 kaars per m^2)⁸⁾. Als het projectiescherm volkomen diffuus licht uitzond, zou voor de genoemde

helderheid een lichtstroom van $0,128 \cdot 32 \cdot \pi = 13$ lumen op het scherm moeten vallen. Veel minder echter is nodig indien het scherm van een doorschijnend materiaal is vervaardigd, zoals matglas. Bij een bepaalde wijze van matteren bereikt men namelijk, dat licht dat loodrecht op de achterzijde van het scherm invalt, naar voren in hoofdzaak ook loodrecht uittreedt en slechts in geringe mate wordt verstrooid. (Wij komen hierop aanstonds nog terug.) Met zulk een selectief verstrooiend scherm kan men bijv. ruim een factor 4 winnen, zodat dan nog slechts een lichtstroom van 3 lm op het scherm behoeft te vallen. Er gaat echter in de optiek, waar deze lichtstroom uit moet komen, licht verloren, ten eerste door het zo juist vermelde onderscheppen (ca 25%), en voorts bij het terugkaatsen aan de spiegels en het passeren door de correctieplaat (tezamen eveneens ca 25%), zodat de verliesfactor ca 0,5 bedraagt. Om 3 lm uit de optiek te krijgen, moet men er dus ca 6 lm laten binnentreden. Een nog grotere lichtstroom moet van de kathodestraalbuis uitgaan. Het breukdeel dat de door de optiek opgevangen lichtstroom vormt van de lichtstroom die het buisvenster uitzendt, is gelijk aan het kwadraat van de numerieke apertuur, zoals wij boven reeds hebben vermeld. Bedraagt deze apertuur bijv. 0,64, dan moet het venster dus $6/0,64^2 \approx 15$ lm uitstralen. Hierbij is weer aangenomen dat het venster ten naaste bij straalt volgens de cosinuswet van Lambert; de lichtsterkte in de asrichting moet dus $15/\pi \approx 5$ kaars bedragen. Het lichtrendement van luminescerende stoffen ligt tussen 1,6 en 3 kaars per watt (gemiddeld bij 2 k/W), zodat de genoemde kaarssterkte van 5 k een vermogen in de elektronenbundel vraagt van ca 2,5 W. De vraag met welke spanning en stroom dit vermogen wordt bereikt, zal in een volgend artikel worden beantwoord. Hier echter zij reeds vermeld dat de kathodestraalbuis voldoende reserve bezit om een kortstondig topvermogen toelaatbaar te doen zijn dat 5 maal zo groot is als het genoemde. Hiermee is een helderheid bereikbaar die 3,5-4 maal zo groot is als die waarvan wij uitgingen (32 k/m^2). (Dat de helderheid minder dan evenredig met het vermogen toeneemt, is hoofdzakelijk te wijten aan verzadigingsverschijnselen in de luminescerende stoffen.)

Van de kathodestraalbuis vermelden wij hier ook alreeds dat het is gelukt de venstermiddellijn tot 6,3 cm te beperken (de grootte van het beeld op het venster bedraagt ca $3,6 \times 4,6 \text{ cm}^2$). Volgens de eerder genoemde regel moet de correctieplaat een ongeveer tweemaal zo grote middellijn hebben als het beeldvenster, dus ca 12 cm. Uit

⁸⁾ In de Amerikaanse literatuur wordt de helderheid gewoonlijk uitgedrukt in footlambert. Het verband tussen deze eenheid en de kaars per m^2 is als volgt: $1 \text{ ftL} = 3,43 \text{ k/m}^2$.

deze middellijn, in combinatie met de waarde van 0,64, die in het voorgaande reeds voor de numerieke apertuur werd ingevoerd, volgt een brandpuntsafstand van ca 10 cm. Hiermee liggen tevens alle andere maten van de optiek vast.

De kwaliteit die men met de Philips-optiek kan bereiken, is zodanig dat bijv. een verdubbeling van het huidige aantal lijnen per beeld zeer wel zin zou hebben. (Dit stuit echter op bezwaren van

het spiegelbeeld er van) juist op het voorvlak van de plaat valt; 2) door de correctieplaat loodrecht op haar as te verschuiven tot haar middelpunt met het zoëven bedoelde punt samenvalt.

Dat deze laatste centrering van groot belang is, zal duidelijk zijn, als men zich herinnert dat de dikte van de correctieplaat aan de rand sterk met de afstand tot het middelpunt varieert (zie het artikel waarnaar noot ⁹⁾ verwijst), zodat reeds voor een zeer kleine decentrering de correctie geheel foutief wordt.



Fig. 10. Foto van een televisiebeeld, uitgezonden door de experimentele zender te Eindhoven en ontvangen op een toestel van het in fig. 1 afgebeelde type. Aantal lijnen 567 (geïnterlineerd ⁹⁾), 50 beelden per sec.

andere aard, waarop wij hier niet kunnen ingaan.)

Fig. 10 is een foto van een televisiebeeld, uitgezonden door de experimentele zender te Eindhoven en ontvangen met een toestel van het in fig. 1 afgebeelde type.

Instellen van de optiek

Wil men met een lichtsterke optiek een behoorlijke afbeelding verkrijgen, dan dient de instelling zeer zorgvuldig te geschieden. In de eerste plaats moet het midden van de correctieplaat juist samenvallen met het kromtemiddelpunt van de holle spiegel — of, bij de Philips-optiek, met het spiegelbeeld van dit middelpunt ten opzichte van de vlakke spiegel. Men bereikt dit samenvallen in twee stappen:

1) door de correctieplaat in axiale richting zodanig te verplaatsen dat het kromtemiddelpunt (resp.

Om deze instellingen gemakkelijk te kunnen uitvoeren, is op de correctieplaat het midden aangegeven door de punt van een V-vormig merkteken. De beide spiegels vormen van dit teken een omgekeerd reëel beeld, dat juist op de correctieplaat valt, als deze zich op de goede hoogte bevindt. Door de correctieplaat omhoog of omlaag te schroeven, kan men de stand opzoeken waarbij men geen parallax tussen het merkteken en zijn spiegelbeeld meer waarneemt. Vervolgens zet men de houder van de correctieplaat in deze stand vast door middel van de schroeven waarvan er in fig. 6 een met 9 is aangeduid. De tweede instelling: het verschuiven van de correctieplaat in haar eigen vlak, is mogelijk doordat de gaten in de rand van de correctieplaat-houder enige speling laten om de bevestigings-schroeven (10, fig. 6). Men verschuift de correctieplaat totdat de punt van het V-teken samenvalt met de punt van zijn spiegelbeeld, zodat de beide

⁹⁾ Voor geïnterlineerde aftasting, zie bijv. Philips techn. T. 3, 289-295, 1938.

V's tezamen een kruisje vormen, en draait dan de schroeven 10 aan.

In de tweede plaats moet het bolle venster van de kathodestraalbuis op de juiste plaats ten opzichte van de optiek worden gebracht. Bij de fabricage van de buis is er al voor gezorgd dat dit venster de kromtestraal heeft die bij de optiek behoort. In het ontvangtoestel bevindt zich een buishouder waarvan de afstand tot de holle spiegel instelbaar is (fig. 6). Bovendien laat deze buishouder enige speling toe van de hoek tussen de as van de buis en die van de spiegel, zodat het mogelijk is, het kromtemiddelpunt van het beeldvenster op de as van de spiegel te brengen.

Het projectiescherm

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, is een der voornaamste voordelen van een groot beeld hierin gelegen, dat verscheidene toeschouwers in één kamer de televisie-uitzending op comfortabele wijze kunnen volgen. Voor het verkrijgen van een beeld met zulke afmetingen is de projectiemethode de aangewezen weg. Ook zagen wij reeds dat het gebruik van een selectief verstrooiend scherm een welkome winstfactor in de helderheid van het beeld meebrengt, doch hierbij dient te worden opgemerkt dat zulks ten koste gaat van het aantal toeschouwers, resp. van de vrijheid in de keuze van de waarnemingsplaats. Het is dan ook nodig hier een compromis te vinden.

Wij noemden reeds matglas als een geschikt materiaal voor een selectief verstrooiend scherm. Men kan zulk een materiaal karakteriseren door zijn verstrooiingskromme $N = f(\theta)$ (fig. 11b; voor de betekenis der grootheden N en θ wordt verwezen naar fig. 11a en het bijbehorende onderschrift). Van zulk een verstrooiingskromme zijn in hoofdzaak slechts twee grootheden van belang: de maximale verstrooiingsfactor N_0 en de hoek waarbij N een bepaald breukdeel van N_0 bedraagt. Voor dit breukdeel kozen we $\frac{1}{2}$; we spreken dan ook van de halfwaardehoek $\theta_{1/2}$. Men kan deze opvatten als de halve tophoek van een verstrooiingskegel die ongeveer de grens vormt van de ruimte waarbinnen goede waarneming mogelijk is. De verstrooiingskrommen voor diverse soorten matglas voldoen bij benadering aan de betrekking $N_0 \sin^2 \theta_{1/2} = \text{constant}$, waarin nog eens het compromis tot uiting komt dat men tussen N_0 en $\theta_{1/2}$ moet sluiten.

Een bezwaar van een materiaal als matglas is dat in verticale vlakken een even grote verstrooiing aanwezig is als horizontaal. Nu kan men in verticale vlakken met een veel kleinere halfwaardehoek volstaan, aangezien de ooghoogten van grote en

kleine, staande en zittende toeschouwers veel minder uiteenlopen dan de breedte bedraagt, waarin plaats voor enige personen moet zijn. Men zou dus winst in helderheid kunnen behalen door het gebruik van een zodanig geribbeld projectiescherm dat $\theta_{1/2}$ in het verticale vlak kleiner is dan $\theta_{1/2}$ in het horizontale vlak. De ribbels zouden echter zeer fijn moeten zijn, kleiner dan de afbeelding van de lichtvlek op het projectiescherm. Bij de toegepaste 8,7-voudige vergroting heeft deze afbeelding een middellijn van omstreeks 0,6 mm. Het vervaardigen van zulk een scherm is vrij bezwaarlijk. Bovendien zouden door de regelmatige structuur gemakkelijk zg. moiré-figuren optreden.

Tot dusverre heeft Philips een matglazen projectiescherm gebruikt, met $N_0 = \text{ca } 4$ en $\theta_{1/2} = \text{ca } 17^\circ$ (fig. 11b). Deze hoek is groot genoeg om het beeld voor 6 tot 8 toeschouwers gemakkelijk waarneembaar te maken. Evenals in een bioscoop, moet de afstand van de toeschouwers tot het scherm ten minste $5 \times$ de beeldhoogte bedragen; bij een beeld van $32 \times 40 \text{ cm}^2$ dus 1,6 m. Dit is nodig om het

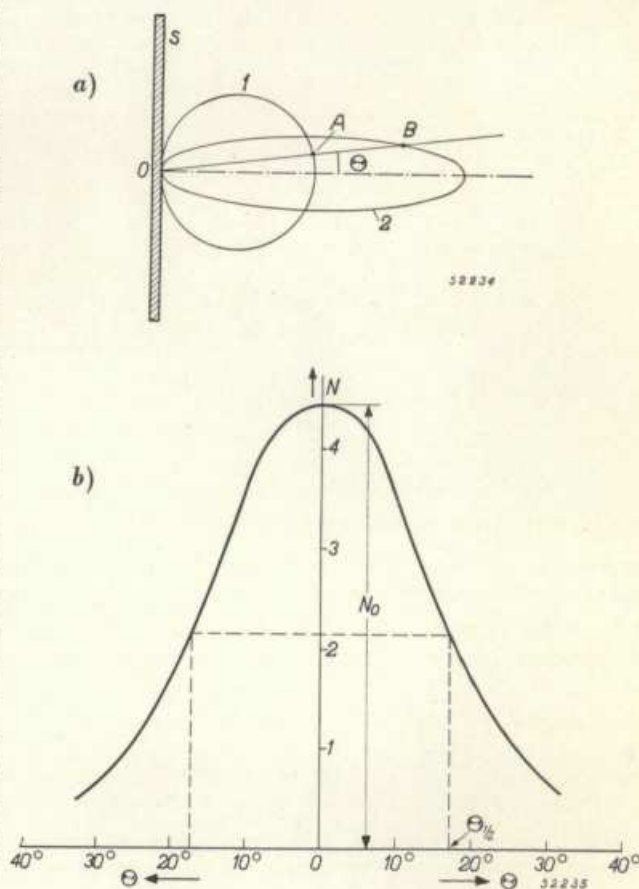


Fig. 11. a) Stelt S een witte, diffuus reflecterende plaat voor (bijv. MgO), dan wordt loodrecht van rechts invallend licht zodanig verstrooid dat het stuk OA dat de cirkel 1 afsnijdt van een voerstraal (onder een hoek θ met de normaal op S), een maat is voor de lichtsterkte die S in de door θ gegeven richting heeft. Stelt S daarentegen een matglazen plaat voor die even sterk, doch nu van links, wordt verlicht, dan vindt men, in plaats van de cirkel, bijv. de ellips 2. De verhouding OB/OA noemen wij N .

b) Verstrooiingskromme $N = f(\theta)$ van een bepaald soort matglas.

beeld met één oogopslag te kunnen overzien. Bij de genoemde afstand neemt men namelijk de randen van het beeld waar onder een hoek van ca 5° met de normaal op het midden van het beeld, dwz. de randen worden afgebeeld op plaatsen van het netvlies waar de gezichtsscherpte is gedaald tot op $1/3$ van die in het midden der fovea (het centrale gedeelte van de gele vlek), wat blijkens de ervaring nog juist toelaatbaar is. Met de genoemde waarde van $\theta_{1/2}$ is op de minimumafstand van 1,6 m al plaats voor 2 personen. Bovendien is ook om de volgende reden een waarnemingsafstand van 1,6 m ongeveer het minimum. Bij kleinere afstand zou namelijk waarneembaar worden dat het beeld is opgebouwd uit lijnen.

Ten slotte nog iets over de verlichting van het vertrek waarin het ontvangtoestel is geplaatst en over de omlijsting van het projectiescherm. In een geheel donkere kamer maakt het televisiebeeld wel een zeer heldere, maar toch onwezenlijke indruk.

Men blijkt dan moeite te hebben, met het voorgestelde mee te leven. Bij het andere uiterste: een zeer heldere omgeving, wordt de aandacht gemakkelijk afgeleid van het beeld, dat dan minder lichtsterk is dan zijn omgeving. Voor de waarneming gunstige omstandigheden krijgt men door in de kamer verzwakt daglicht toe te laten, dan wel normale of iets gedempte kunstverlichting te gebruiken.

Een belangrijk punt is ook de omlijsting van het beeld. Deze kan het best in lichte kleuren worden uitgevoerd. Het effect hiervan is vergelijkbaar met dat van de lijst om een schilderij of de witte rand om een ets; het blijkt een onmisbaar hulpmiddel te zijn voor de verbeelding van de toeschouwers, voor wie het beeld daardoor veel meer gaat leven. In hoge mate dragen hiertoe ook de kleine hulpluidsprekers bij, die ter weerszijden van het scherm zijn aangebracht en voornamelijk dat gedeelte uit het geluidsspectrum weergeven dat het belangrijkste is voor de spraak.

EEN TRANSPORTABEL RÖNTGENAPPARAAT VOOR MASSA-LONGONDERZOEK

621.386.14: 616-073.75

door H. J. DI GIOVANNI *), W. KES *) en K. LOWITZSCH *).

Beschrijving van het transportabele apparaat dat door de North American Philips Co., Inc., is ontwikkeld voor massa-longonderzoek door middel van miniatuur-röntgenfoto's. De beeldjes worden opgenomen op 70 mm-film met behulp van een Fairchild-camera met automatisch filmtransport na elke opname; op een film kunnen 375 beeldjes zonder onderbreking worden opgenomen. Een constante gemiddelde zwarting van alle beeldjes wordt bereikt door toepassing van de foto-electrische belichtingsautomaat volgens Morgan en Hodges, die de belichting beëindigt zodra genoeg licht van het fluorescerende scherm op de film is gevallen. Behalve deze onderdelen bevat het apparaat nog een aantal andere inrichtingen ter voorkoming van fouten, o.a. een vergrendelings-mechanisme dat in werking wordt gesteld door de identiteitskaart van de te onderzoeken persoon en dat een eventuele verwisseling van röntgenfoto's voorkomt. Het gewicht van de gehele installatie, met een hoogspanningsgenerator voor 100 kV, 200 mA, bedraagt slechts 550 kg, dank zij het ruime gebruik van magnesiumlegeringen voor de gietstukken. Het apparaat kan in 12 delen worden uiteengenomen, hetgeen een zeer snel opstellen en afbreken op de plaats van het onderzoek mogelijk maakt. Een aantal bijzonderheden van de installatie worden in dit artikel uitvoeriger beschreven, bijv. de verticale verplaatsing van röntgenbuis en scherm, de schakellessenaar, de belichtingsautomaat, enz.

Sinds ongeveer tien jaar beschikt de tuberculosebestrijding over een nieuw hulpmiddel voor de diagnostiek: de röntgen-camera-foto. Dit is een miniatuur-röntgenfoto van de longen, welke wordt verkregen door het röntgenshaduwbeeld, dat op een fluorescerend scherm verschijnt, verkleind te fotograferen (fig. 1). Het is gebleken, dat reeds zeer kleine beelden, opgenomen bijv. op 35, 45 of 70 mm brede rolfilm, inlichtingen kunnen verstrekken over

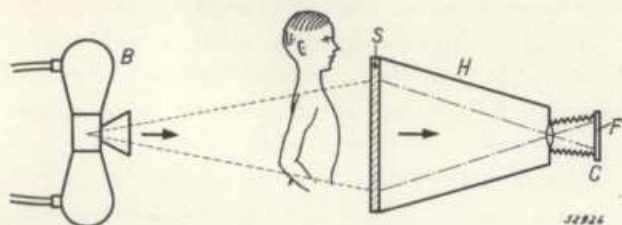


Fig. 1. Algemene opstelling voor röntgen-camera-fotografie. De te onderzoeken persoon wordt met de borst tegen een fluorescerend scherm *S* geplaatst, dat zich aan een einde van een lichtdichte koker *H* bevindt. Een röntgenbuis *B* ontwerpt een schaduwbeeld van de borst op het scherm. Dit beeld wordt sterk verkleind op een film *F* gefotografeerd door middel van de camera *C*, die aan het andere einde van de koker staat.

het al dan niet aanwezig zijn van een aandoening van de longweefsels. Dank zij het kleine formaat van de film is een serie-onderzoek van grote groepen van de bevolking mogelijk tegen betrekkelijk geringe kosten en in zeer korte tijd. De methode is dan ook buitengewoon waardevol gebleken voor het opsporen van gevallen van longtuberculose (in het zg. symptoomloze stadium, dat de beste vooruitzichten biedt voor een succesvolle behandeling); de nauwkeurige diagnose in de gevallen die op deze wijze aan het licht komen, kan daarna door middel van de gebruikelijke röntgenopnamen op ware grootte worden gesteld.

Het principe van de methode der röntgen-

*) North American Philips Company, Inc., New York, N.Y.

camera-fotografie, waaraan het eerst een praktisch bruikbare vorm werd gegeven door de Abreu¹⁾ in 1936, werd in 1940 in dit tijdschrift aan een beschouwing onderworpen²⁾. Daarbij werd tevens een serie proeven besproken die het nut van de methode aantoonde. Om een indruk te geven van de grote schaal waarop de methode inmiddels toepassing heeft gevonden, zij vermeld, dat in de jaren 1941-1944 in de Verenigde Staten alléén al 20 miljoen miniatuur-röntgenfoto's werden gemaakt³⁾.

Het ligt voor de hand dat bij onderzoeken die zich over zulke enorme aantallen personen uitstrekken, de organisatie-problemen zeer veel aandacht gaan opeisen. Deze problemen kunnen slechts bevredigend worden opgelost met behulp van speciaal aan dit doel aangepaste installaties, en de wijze van organisatie zal klaarblijkelijk moeten verschillen voor verschillende bevolkingsgroepen. De gunstigste situatie voor de uitvoering van een massa-longonderzoek treft men aan bij bevolkingsgroepen zoals militairen, schoolkinderen, personeel werkzaam in de verschillende industrieën, en ziekenhuispatienten. Aan deze laatste groep zullen aan het einde van dit artikel enkele opmerkingen worden gewijd; wat de andere groepen betreft, zijn er twee mogelijkheden: de installatie wordt naar de te onderzoeken personen gebracht, of omgekeerd. Indien het aantal te onderzoeken personen op een bepaalde plaats het toepassen van de eerstgenoemde methode

¹⁾ M. de Abreu, Z. Tuberculose **80**, 70-91, 1938; M. de Abreu en A. de Paula, Roentgenfotografia, Livr. Ateneu, Rio de Janeiro 1940. Een hele reeks voorlopers, o.a. Köhler en Biesalski (1909), Caldwell (1911), Gardner (1932), zagen reeds het belang van de methode in, maar beschikten nog niet over voldoende technische hulpmiddelen om haar met succes toe te passen.

²⁾ A. Bouwers en G. C. E. Burger, Röntgenopnamen met de camera, Philips techn. Tijdschrift **5**, 270-275, 1940.

³⁾ Zie H. E. Hilleboe en R. H. Morgan, Mass Radiography of the Chest, The Year Book Publishers, Chicago 1945.

wettigt — en mits op die plaats een geschikte net-aansluiting aanwezig of een benzine-generator-aggregaat beschikbaar is — dan verdient deze methode de voorkeur. Zij biedt het voordeel, dat de te onderzoeken personen zo weinig mogelijk tijd verliezen en hun zo veel mogelijk wordt belet zich aan het onderzoek te onttrekken. Bij het ontwikkelen van een röntgenuitrusting die voor elke vorm van massa-longonderzoek geschikt moest zijn, was derhalve — naast de uiteraard gewenste goede kwaliteit der opnamen — de vervoerbaarheid een eerste eis; hiervoor moest de installatie licht zijn, weinig plaatsruimte vergen, gemakkelijk opgesteld en afgebroken kunnen worden. Verdere belangrijke eisen, waaraan het apparaat diende te voldoen om een toepassing op grote schaal mogelijk te maken, waren: bedrijfszekerheid, eenvoudige en snelle bediening door betrekkelijk ongeschoold personeel en beveiliging tegen alle mogelijke vergissingen.

Belangrijke bijdragen tot het verwezenlijken van de laatstgenoemde doelstellingen werden geleverd door de ontwikkeling van automatische fotografische camera's (Fairchild, Rekordak) en van de belichtingsautomaat van Morgan en Hodges⁴⁾. Deze beide inrichtingen, waarvan enkele bijzonderheden in het onderstaande zullen worden besproken, zijn ingebouwd in de meeste apparaten voor massa-longonderzoek die in de handel verkrijgbaar zijn; zo ook in het apparaat dat in dit artikel zal worden beschreven. Dit apparaat, dat een aantal eigenschappen bezit die een nadere bespreking wettigen, werd ontwikkeld door de North American Philips Company, Inc.; het is gedurende de laatste jaren bij verschillende Gezondheidsdiensten in alle delen van de Verenigde Staten en in tal van andere landen permanent in gebruik geweest.

Algemene beschrijving van het apparaat

In fig. 2 is een foto van de complete installatie weergegeven. De röntgenbuis en de koker met de camera, die in fig. 1 reeds waren aangegeven, zijn elk op een kolom geplaatst; deze kolommen zijn in een vaste onderlinge stand op een gemeenschappelijke grondplaat bevestigd. De hoogspannings-generator, die bestaat uit drie (of twee) eenheden, en een schakellessenaar met een scherm voor de persoon die het toestel bedient, bevinden zich achter de röntgenbuis. Door deze opstelling wordt slechts een minimum aan vloeroppervlak ingenomen;

bovendien wordt de toegang tot het apparaat niet door de hoogspanningskabels en verbindingssnoeren belemmerd. Dit is van groot belang, indien een min of meer continue stroom van patienten moet worden verwerkt.

De automatische Fairchild-camera, die aan het nauwe einde van de koker is bevestigd, is speciaal ontworpen voor röntgen-camera-fotografie. Het chassis van deze camera kan een rol van ruim 30 meter (ongeperforeerde) 70 mm-film bevatten. De film wordt na elke opname automatisch over de lengte van één beeldje voortbewogen door een kleine electromotor. Dit vergemakkelijkt de taak van het bedienend personeel en voorkomt het gevaar van opnamen over elkaar. De afmetingen van een beeldje bedragen ca 6,4 cm × 7,6 cm. Op een film met een lengte van 30 m kunnen derhalve 375 beeldjes worden opgenomen zonder onderbreking voor het ledigen en weer vullen van het chassis. Wij willen hier niet ingaan op de kwestie van het meest gewenste beeldformaat. Er zij echter vermeld, dat — hoewel kleinere formaten heel goed mogelijk zijn en in nog hogere mate de voordelen van kosten- en ruimtebesparing bieden — het 70 mm-formaat op vele plaatsen ingang heeft gevonden omdat hierbij relatief grof-korrelig en derhalve zeer gevoelig film-materiaal kan worden gebruikt.

Aangezien bij röntgen-camera-fotografie een grote lichtsterkte van het optische systeem van het grootste belang is, bevat de Fairchild-camera een speciaal voor dit doel ontworpen objectief met effectieve lichtsterkte $f: 1,9$ (voor de voorwerpsafstand van ca 75 cm) en met geprepareerde glasoppervlakken ter vermindering van de reflectieverliezen. Het vinden van het beste compromis tussen de tegenstrijdige wensen van grote opening en uiterst scherpe afbeelding werd in dit geval aanzienlijk vereenvoudigd door het feit dat men slechts met één bepaalde, vaste voorwerpsafstand te maken heeft; ook van chromatische aberraties heeft men hier, althans tot op zekere hoogte, geen last, aangezien de verschillende typen fluorescerende schermen die voor röntgen-camera-fotografie worden gebruikt, licht uitzenden met een vrij geprononceerd maximum in de spectrale verdeling, hetzij in het blauwe of in het groene spectrale gebied.

Boven in de koker bevindt zich de reeds genoemde belichtingsautomaat volgens Morgan en Hodges. Dit toestel regelt de belichtingsduur: het schakelt nl. de voeding van de röntgenbuis automatisch uit zodra een bepaalde belichting van de film is bereikt, die correspondeert met de gewenste gemiddelde zwarting van de röntgenfoto. Een dwarsdoorsnede van de koker, waarin o.a. de opstelling voor de be-

⁴⁾ R. H. Morgan en P. C. Hodges, U.S. Pat. 2 401 289. Zie ook: R. H. Morgan, Am. J. Röntg. 48, 220-228, 1942; Publ. Health Rep. 58, 1533, 1943. — Vroegere pogingen om een dergelijke inrichting te ontwikkelen werden gedaan door H. Franke: Fortschr. Röntg. 42 (Kongressheft), 153-154, 1930.

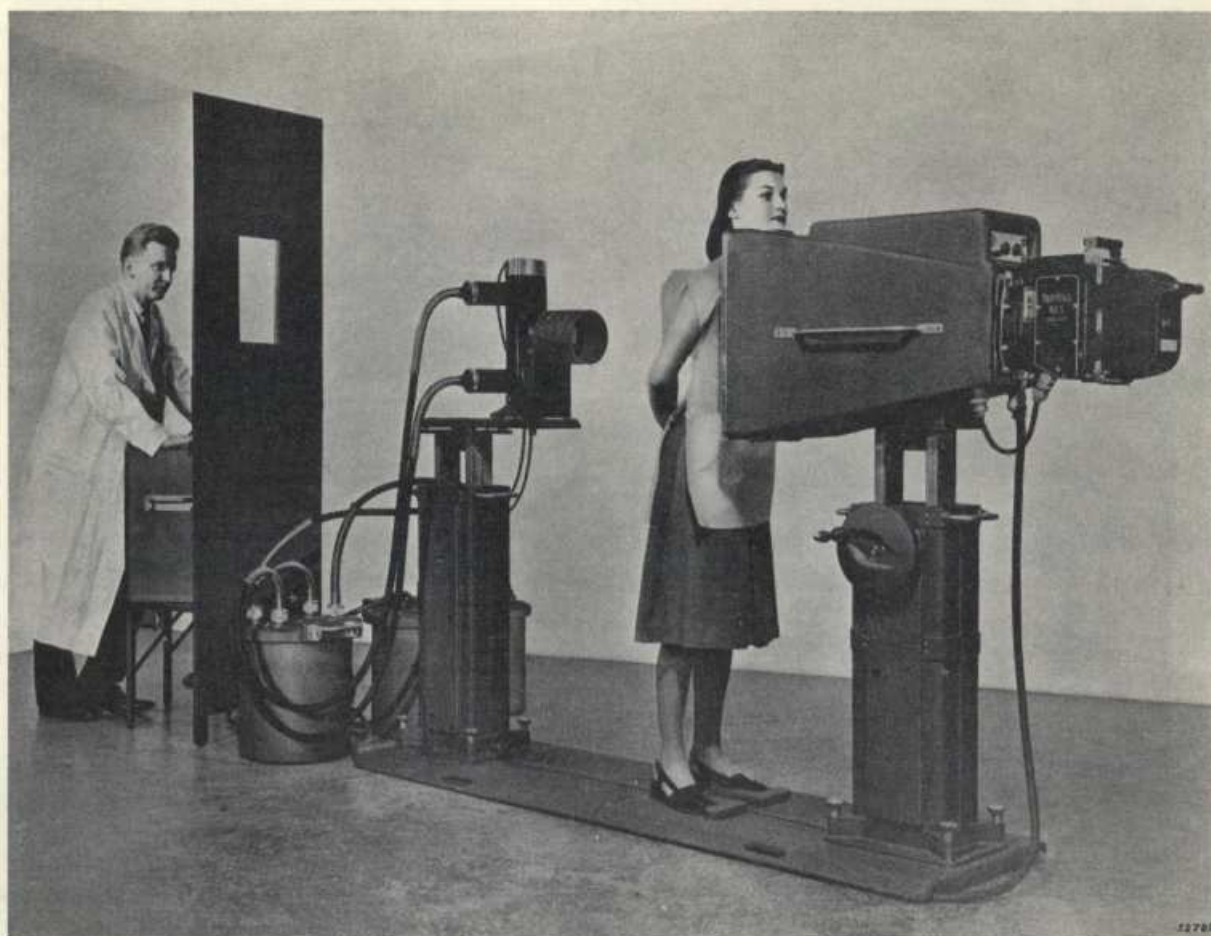


Fig. 2. Philips apparatuur voor massa-longonderzoek. De röntgenbuis en de koker zijn ieder op een kolom gemonteerd. Geheel rechts de automatische Fairchild-camera, die door middel van twee haken aan de koker wordt gehangen en in deze positie vergrendeld. Boven in de koker de belichtingsautomaat. De persoon die de installatie bedient, staat bij de schakellessenaar achter een scherm; van hier uit kan hij de te onderzoeken patient door een loodglazen venster gadeslaan. De drie cilindrische bakken die tussen de röntgenbuis en de schakellessenaar staan en met beide verbonden zijn door flexibele kabels, bevatten de twee delen van de hoogspanningstransformator, die elk tot 50 kV leveren, en een gelijkrichter met vier hoogvacuumventielen. Desgewenst kunnen de twee transformator-eenheden worden vervangen door één enkele die de totale spanning van 100 kV levert bij een maximum stroomsterkte van 100 mA; het tweedelige apparaat kan 200 mA leveren. De leidingen die de camera en de belichtingsautomaat met de schakellessenaar verbinden, zijn in een gleuf in de grondplaat gelegd.

lichtingsautomaat is aangegeven, ziet men in fig. 3. Een bepaald gedeelte van het fluorescerende scherm wordt door een lens afgebeeld op het lichtgevoelige oppervlak van een multiplicatorbuis. De elektrische stroom die door deze verlichting in de buis wordt opgewekt, laadt een condensator; de spanning van deze condensator wordt toegevoerd aan het rooster van een relaisbuis. Als de spanning aan de condensator een bepaalde waarde bereikt, die overeenkomt met een van te voren vastgestelde hoeveelheid licht, uitgezonden door het fluorescerende scherm, ontsteekt de relaisbuis, waardoor de voeding van de röntgenbuis wordt verbroken. Verderop in dit artikel zullen wij op enkele bijzonderheden van dit mechanisme nader ingaan.

De schakellessenaar is afgebeeld in fig. 4.

In vele gevallen, waar met tijd en personeel gewoerd moet worden, zal het niet doenlijk zijn voor elke persoon uit een grote groep de borstkasafmetingen te bepalen, en de bijbehorende nauwkeurige waarden op te zoeken en in te stellen die de buisspanning en de buisstroom moeten hebben voor het verkrijgen van een foto met optimale scherpte en contrast. In het algemeen worden daarom „normale” waarden, van bijv. 85 kV (piekwaarde) en 100 mA (gemiddelde waarde), gekozen. Slechts voor personen met zeer ongewone proporties moeten dan andere waarden worden genomen. Voor dit doel kan de hoogspanning worden ingesteld op 75, 85 of 100 kV; de stroomsterkte is instelbaar op 50, 100 of 200 mA. De hoogste mA-waarde dient alleen daar te worden gebruikt waar het plaatselijke net

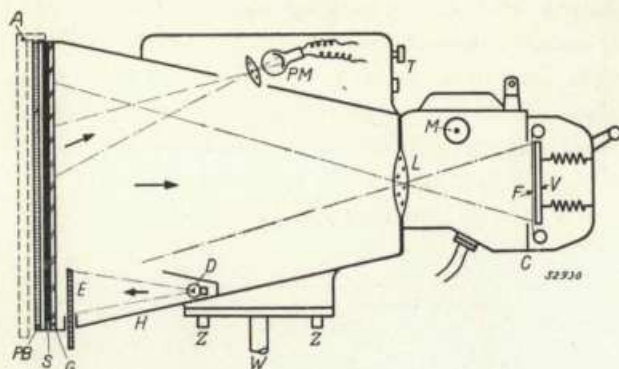


Fig. 3. Dwarsdoorsnede door de koker, schematisch voorgesteld. Vóór het scherm *S*, dat door een plaat van helder glas *G* vlak wordt gehouden, is een Potter-Bucky-diafragma *PB* met zeer fijne lamellen aangebracht, dat de verstrooide straling in belangrijke mate tegenhoudt en daardoor het contrast in het beeld vergroot. Een geschikt gekozen rechthoekig gedeelte van het schaduwbeeld op het scherm wordt door een lens afgebeeld op het lichtgevoelige oppervlak van de multiplicatorbuis *PM*, die voor de automatische regeling van de belichtingstijd zorgt. De afstelling van de belichtingsautomaat op de gewenste zwarting van de film geschiedt op het paneel bij *T*. De kaart *E* en de lamp *D* maken deel uit van het identificatie- en vergrendelings-systeem, dat in het volgende hoofdstuk wordt beschreven. *W* en *Z* zijn pennen voor het zetten van de koker op zijn kolom. *C* is de Fairchild-„Fluoro-Record“-camera met het objectief *L* en de motor *M* voor het automatische filmtransport. Gedurende de belichting wordt de film *F* door middel van een drukplaat *V* tegen het raam gedrukt, dat zich in het beeldvlak bevindt; na de belichting wordt de film automatisch losgelaten om te kunnen worden voortbewogen. De röntgenstralen die door het fluorescerende scherm heendringen, worden praktisch geheel door het camera-objectief en zijn stalen fitting geabsorbeerd, zodat geen sluiering van de film in het camera-chassis behoeft te worden gevreesd. Is het gewenst een röntgenfoto op ware grootte te maken, dan wordt aan de kant van het fluorescencescherm een raam *A* voor een cassettehouder aan de koker gehaakt.

een voldoende lage eigen weerstand bezit, zodat hierin geen overmatig spanningsverlies bij die sterke belasting optreedt.

De buisstroom is door middel van een gloeispannings-stabilisator onafhankelijk gemaakt van schommelingen in de netspanning, en de hoogspanning is met behulp van een stel compensatie-weerstanden onafhankelijk gemaakt van de stroom door de buis — een methode die onlangs in dit tijdschrift werd beschreven⁵⁾. Deze voorzorgsmaatregelen dienen er in ons geval slechts toe om een steeds gelijk contrast en scherpte van de foto's te verkrijgen; in tegenstelling met de normale diagnostische foto's zijn zij niet noodzakelijk voor het verkrijgen van een steeds gelijke zwarting van de film, daar deze door de belichtingsautomaat wordt gewaarborgd.

Voor een dikte van 25-28 cm van de borstkas is bij 100 kV buisspanning en een stroom van 100 mA een belichtingstijd van ongeveer 0,25 sec nodig. In de uiterste gevallen zal de belichtingstijd tussen 0,1 en

0,5 sec variëren. Natuurlijk mag bij gegeven spanning en stroom de belichtingstijd niet zo lang zijn dat de anode van de röntgenbuis te heet wordt. Om zeker te zijn dat de hierdoor gestelde tijdgrens, welke beantwoordt aan de toelaatbare buisbelasting, nooit wordt overschreden, en ook om de röntgenbuis te beschermen voor het geval dat de belichtingsautomaat eens zou weigeren, is nog een veiligheidsschakelaar aangebracht. Deze onderbreekt de voeding van de röntgenbuis (onafhankelijk van hetgeen de foto-electrische schakelaar doet) na een bepaalde tijd, welke men naar gelang van de toelaatbare buisbelasting kan instellen. Er zijn zeven instellingen mogelijk, gelegen tussen 0,25 en 2,5 sec. Terloops zij er op gewezen dat de toelaatbare belichtingstijden bij het massa-longonderzoek beïnvloed worden door het feit dat grote aantallen



Fig. 4. Paneel van de schakellessenaar. In het midden een schakelaar voor het overschakelen van röntgen-camera-fotografie op normale röntgenfoto's; daaronder de regelknop voor de keuze van de hoogspanning; rechts de mA-kiezer (met meter); links instelknop (met meter) voor de regeling van de ingangsspanning ter compensatie van netspanningsvariaties. Rondom deze bedieningsknoppen: signaallampjes, drukknop voor het maken van de opnamen, opnameteller. De leidingen die van de hoogspanningsgenerator, de belichtingsautomaat, de automatische camera en andere inrichtingen naar de schakellessenaar voeren, worden hierop aangesloten door middel van stekers en bussen. Alle stekers zijn genummerd en van vergrendelingen voorzien om foutieve aansluiting van de leidingen of het per ongeluk uittrekken en verwisselen te voorkomen.

opnamen met slechts korte tussenpozen moeten worden gemaakt (in vele gevallen wel 200 à 300 opnamen per uur).

De hoogte waarop röntgenbuis en scherm zich bevinden, moet worden aangepast aan de lengte van de te onderzoeken persoon. Derhalve kan de koker door middel van een handwiel met kruk in verticale richting worden verplaatst. Door middel van een ketting, die door een gleuf in de grondplaat loopt, is de röntgenbuis met de koker verbonden, zodat de buis de koker in zijn verticale beweging nauwkeurig volgt. Dit mecha-

⁵⁾ A. Nemet, W. A. Bayfield en M. Berindei, Een röntgendiagnostiek-apparaat met afleesbare opnamegegevens en beveiliging tegen overbelasting, Philips techn. Tijdschrift 10, 37-45, 1948 (No. 2).

nisme is weergegeven in *fig. 5*. Tevens toont en verklaart deze figuur enige verdere bijzonderheden van de constructie. Twee aanslagen op de grondplaat en een uitholling in de koker bepalen de plaats van voeten en kin van de patient en maken het mogelijk hem snel in de juiste stand ten opzichte van het scherm te plaatsen.

gekozen. Met de verwerking van dit metaal, dat als constructie-materiaal nog betrekkelijk weinig wordt toegepast, is men door de ervaringen van vliegtuigfabrieken en gieterijen van vliegtuigonderdelen vóór en gedurende de laatste oorlog goed vertrouwd geraakt. Voor gietstukken wordt het metaal in het algemeen gebruikt in de vorm van een

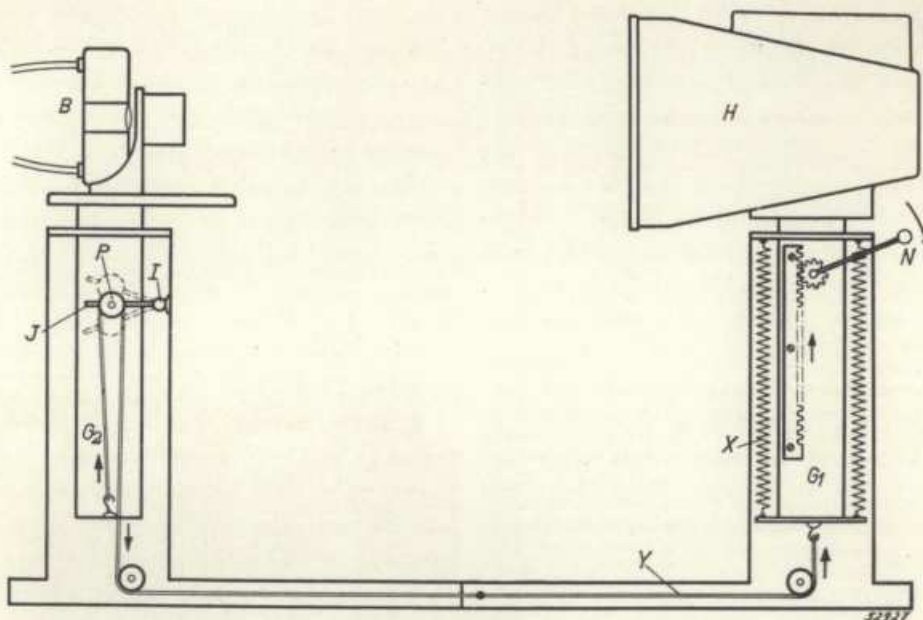


Fig. 5. De hoogte van de koker *H* wordt ingesteld door middel van de kruk *N* en een tandheugelaandrijving. De röntgenbuis *B* beweegt met de koker mee doordat de twee glijstukken *G*₁ en *G*₂, die de koker en de buis dragen, door een ketting *Y* met elkaar zijn verbonden. Het totale gewicht van de röntgenbuis en van de koker is bij de middelste stand van hun slag juist gebalanceerd door de spanning van de veren *X*. Dank zij de grote lengte van deze veren varieert de spanning slechts weinig met de stand van de koker, zodat de balancerings ten naaste bij in alle standen blijft bestaan; hierdoor vereist de hoogte-instelling geen andere krachten dan die onvermijdelijk nodig zijn voor het versnellen van de massa's. (Balancering door veren in plaats van tegenwichten heeft het voordeel dat de te overwinnen traagheidskrachten zo klein mogelijk worden gehouden.) Door de lagerarm *J* met behulp van een kruk om zijn draaipunt *I* te zwenken, kan het kettingwiel *P* in twee bepaalde standen, één boven en één onder de normale stand, worden gebracht; op deze wijze kunnen stereoscopische opnamen worden gemaakt, daar de bron van de röntgenstralen in de ene stand van *P* 5 cm onder en in de andere stand 5 cm boven de normale hoogte ligt, waardoor twee schaduwbeelden met de gewenste parallax worden verkregen. (Om afzonderlijke paren van stereo-opnamen te maken, kan het rolfilm-chassis van de camera worden vervangen door een speciaal aanzetstuk voor vlakke film; dit is ook nuttig voor het maken van proefopnamen.)

De verticale instelling kan ook worden bewerkstelligd met behulp van een kleine motor, die voorzien is van een speciale, voor dit doel ontwikkelde reminrichting. Deze inrichting brengt, nadat de bedieningsknop is losgelaten, de snel draaiende motor binnen twee of drie omwentelingen tot staan. Dit is belangrijk voor een snelle instelling, daar hierdoor een voorbijschieten van de juiste stand en heen- en weer-regelen wordt voorkomen.

Mechanische constructie van de installatie

Daar een gering gewicht een van de belangrijkste eisen voor een transportabele installatie is, werd als materiaal voor de hoofdgiestukken magnesium

legering die aluminium, kleine hoeveelheden mangaan en soms zink bevat, bijv. 6% Al, 0,2% Mn, 3% Zn. Het soortelijke gewicht van deze legering is ongeveer 1,8, dwz. 1/4 van dat van ijzer en 2/3 van dat van aluminium. Men kon dus, bij gebruik van dit materiaal, een belangrijke besparing in gewicht verwachten.

Weliswaar wordt een gedeelte van de winst, die wordt verkregen door het lage soortelijke gewicht, teniet gedaan door de minder gunstige mechanische eigenschappen van magnesium, nl. de geringere schokvastheid en de kleinere elasticiteitsmodulus in vergelijking met de gebruikelijke aluminiumlegeringen (de elasticiteitsmodulus van de bovengenoemde magnesiumlegering is $4,5 \cdot 10^5$ kg/cm², van aluminiumlegeringen $7 \cdot 10^5$ kg/cm²). Deze eigenschappen maken de toepassing

van grotere materiaaldikten noodzakelijk, alsmede van extra versterkingsribben, zeer geleidelijk verlopende overgangen van zware naar lichtere delen, en grotere afrondingsstralen (ongeveer twee maal zo groot als voor ijzeren gietstukken). Toch bleken de gietstukken lichter te zijn wanneer zij van magnesium werden vervaardigd, dan wanneer enig ander materiaal zou zijn gebruikt. Dit is ten dele te danken aan de gelukkige omstandigheid, dat de maatregelen die nodig zijn wegens de lage elasticiteitsmodulus en wegens de geringe schokvastheid, ongeveer dezelfde zijn.

Behalve hun gering gewicht, bezitten magnesiumlegeringen in het algemeen het voordeel van een voortreffelijke bewerkbaarheid: zeer hoge snij-snelheden en grote spaandikten zijn mogelijk. Door de bijzondere mechanische eigenschappen van het materiaal verschilt de methode van bewerking, bijv. wat betreft het type snijgereedschap, de slijp-methoden en de smering, natuurlijk vrij sterk van de methoden die bij andere metalen worden gevolgd⁶⁾.

Dank zij het ruime gebruik dat van magnesium werd gemaakt, kon het totale gewicht van het apparaat worden beperkt tot 550 kg (met de 200 mA-generator; indien de 100 mA-generator wordt gebruikt, bedraagt het gewicht slechts 480 kg).

Hierboven werden als verdere eisen voor een vervoerbare installatie genoemd: kleine afmetingen, benevens gemakkelijk en snel opstellen en afbreken. Om het volume te beperken zijn de grootste onderdelen (het scherm voor de persoon die het apparaat bedient, en de grondplaat) opvouwbaar gemaakt. Aan de andere kant is het aantal delen waarin de installatie bij het afbreken wordt gesplitst, zo klein mogelijk gehouden, teneinde de tijd, nodig voor opstellen en afbreken, kort te maken. Het aantal hoofdbestanddelen bedraagt 12 en het gehele apparaat kan in 15-20 minuten worden opgesteld of afgebroken. Natuurlijk mocht de wens om het aantal delen te beperken niet de eis van een redelijk gemakkelijke draagbaarheid der afzonderlijke stukken in het gedrang brengen. Zo werd bijv. de transformator van de 200 mA-generator in twee delen geconstrueerd om het gewicht te verdelen (elke helft weegt ongeveer 90 kg).

De snelheid waarmee de apparatuur in elkaar gezet kan worden, is ten dele te danken aan de eenvoudige wijze waarop de kolommen met de koker en de röntgenbuis kunnen worden opgesteld. De kolommen worden door middel van vier klem-schroeven op de grondplaat bevestigd. De koker en de console voor de röntgenbuis daarentegen

worden eenvoudig op hun respectievelijke kolommen geplaatst door een pen in een hiervoor bestemd gat te steken; twee kleine hulppennen zorgen voor het nauwkeurig richten. De röntgenbuis wordt op overeenkomstige wijze op de console geplaatst; al deze delen worden door hun eigen gewicht op hun plaats gehouden. De ketting die de koker met de röntgenbuis verbindt, bestaat uit twee gedeelten; bij het afbreken van de installatie worden deze in het midden losgekoppeld en elk gedeelte wordt in zijn kolom getrokken, waarin het kan worden vastgezet. Hierdoor wordt automatisch het glijstuk van de kolom voor de röntgenbuis vastgemaakt, zodat dit tijdens het transport geen beschadiging kan oplopen.

Beveiligingsinrichtingen tegen vergissingen

Het apparaat bevat een aantal inrichtingen om vergissingen van het personeel, die het apparaat zouden kunnen beschadigen of de onderzoekings-resultaten zouden kunnen benadelen, onmogelijk te maken. Wij noemden reeds de automatische camera en de belichtingsautomaat, die beide deze strekking hebben. Thans volgt de beschrijving van nog enkele andere hulpmiddelen voor hetzelfde doel.

Verwisselingen door onjuiste identificatie van de foto's worden uitgesloten door een identificatiesysteem, dat in het onderste gedeelte van fig. 3 is te zien. Voor elke te onderzoeken persoon moet een identiteitskaart *E*, waarop zijn naam, serienummer of andere gegevens vermeld staan, op de juiste wijze in een kaarthouder in de koker worden geschoven. Hierbij wordt een relais-systeem in werking gesteld, en de schakeling is zo ingericht dat daardoor pas de belasting van de röntgenbuis mogelijk wordt gemaakt. Tijdens de opname wordt de identiteitskaart verlicht door een lamp *D* en op het onderste gedeelte van de miniatuur-röntgenfoto gefotografeerd. Na de opname is het apparaat automatisch geblokkeerd en slechts door het uittrekken van de kaart uit de houder en het op juiste wijze inzetten van een nieuwe kaart (of van dezelfde kaart opnieuw, indien een tweede foto van dezelfde persoon gewenst is) wordt de toestand, nodig voor het belasten van de röntgenbuis, hersteld.

Het maken van een foto gebeurt eenvoudig door een knop op de schakellessenaar (zie fig. 4) in te drukken en ingedrukt te houden. Het relais-systeem dat door deze drukknop in werking wordt gesteld, schakelt de verlichting van de identiteitskaart in de koker in, verhoogt de gloeistroom van de ventielen en zorgt dat de stator van de röntgenbuis wordt bekrachtigd waardoor de anode op toeren wordt gebracht (dit geldt natuurlijk slechts indien

⁶⁾ Een merkwaardige bijzonderheid bij de bewerking van magnesium is de noodzakelijkheid om brandgevaar te voorkomen: zoals bekend is, zijn zeer fijne magnesiumdeeltjes gemakkelijk ontvlambaar (men denke aan de vroegere fotografische bliksemlichtpoeders!). Derhalve zijn speciale voorzorgsmaatregelen nodig bij het snijden en bij het opruimen van de spaan.

een buis met roterende anode wordt gebruikt; buizen met stilstaande anode kunnen echter eveneens worden toegepast). Ongeveer één seconde later begint de emissie van de röntgenstralen, hetgeen wordt aangegeven door een rood signaallampje op de schakellessenaar. Zodra de juiste belichtingstijd is verlopen, wordt de voeding van de röntgenbuis verbroken door de foto-electrische schakelaar en gaat het rode signaallampje uit. Nu kan de drukknop worden losgelaten, waarop het automatische filmtransport naar het volgende beeld plaats vindt.

Wordt de drukknop eerder losgelaten, dan houdt de belichting onmiddellijk op doordat de voeding van het apparaat wordt onderbroken. Men heeft dus de werking voortdurend in zijn macht en kan onmiddellijk alles stopzetten als dit nodig mocht zijn.

Behalve het juiste inzetten van de identiteitskaart zijn er nog andere voorwaarden waaraan moet worden voldaan om het apparaat te deblokken voor de volgende opname. Als de film op is, of als de filmcassette abusievelijk niet gevuld is, is er geen belichting mogelijk. Hetzelfde geldt als de veiligheidsschakelaar in werking is getreden en de belichting heeft afgebroken vóórdat dit door de belichtingsautomaat is geschied. Dit wordt aangegeven door een wit signaallampje op het paneel van de belichtingsautomaat. Als dit lampje brandt, moet een herstelknop op het paneel worden ingedrukt om weer de normale toestand te verkrijgen. Deze voorzorgsmaatregel dient er toe de aandacht van degene die het apparaat bedient, er op te vestigen, dat de zwarting van de laatst opgenomen foto onvoldoende zal zijn, daar deze niet de volle belichting heeft gekregen. Hij kan in dat geval trachten de opname te herhalen met een hogere spanning, waarbij de straling beter door de in onderzoek zijnde borstkas heendringt.

Behalve de reeds genoemde rode en witte signaallampjes bevindt zich op de schakellessenaar een blauw lampje, dat oplicht tijdens het transport van de film, benevens een lichtsein „Ready” („Gereed”), als contrôle dat aan alle voorwaarden voor het maken van een opname is voldaan.

Aangezien de zeer eenvoudige bediening voor een groot deel te danken is aan de belichtingsautomaat, mogen hier enkele bijzonderheden van deze inrichting nader worden beschreven. Fig. 6 geeft een vereenvoudigd schakelschema. De automaat kan van tevoren worden afgesteld op een bepaalde gemiddelde zwarting van de miniatuur-foto's, door regeling van de versterkingsfactor van de 9-traps-multiplierbuis. Hiertoe kan de versnellingsspanning tussen elk opeenvolgend paar elektroden in deze buis worden veranderd tussen 25 V en

100 V, waardoor de versterkingsfactor varieert tussen 100 en 10^6 . Bij gebruik van de laatstgenoemde factor zal de belichting die de film verkrijgt totdat de röntgenbuis uitgeschakeld wordt, 10^4 maal kleiner zijn dan met de eerstgenoemde factor. Het is nu van belang de reproduceerbaarheid van de zwarting (of van het product van schermhelderheid en belichtingstijd) nader te beschouwen. Uit het bovenstaande blijkt, dat de verkregen zwarting zeer gevoelig zal zijn voor kleine spanningsschommelingen aan de fotocel. Derhalve wordt deze met een gestabiliseerde spanning gevoed. Een andere factor waarmee rekening diende te worden gehouden, is dat de hoofdschakelaar, die door de relaisbuis van de belichtingsautomaat wordt bediend, ten gevolge van zijn traagheid een zekere

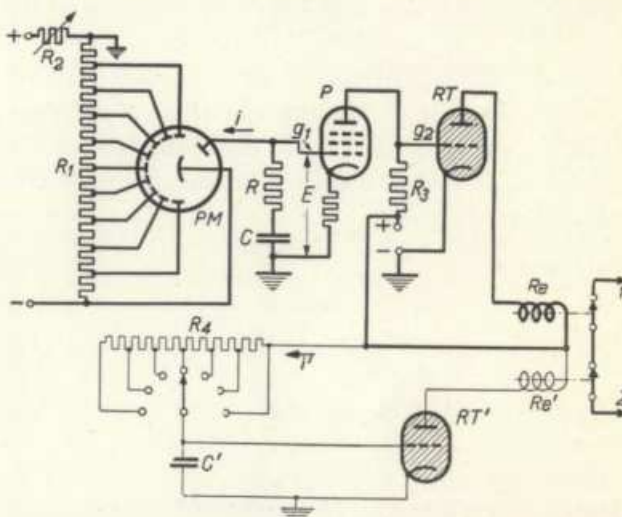


Fig. 6. Vereenvoudigd schakelschema van de foto-electrische belichtingsautomaat (dik getrokken lijnen) en van de veiligheids-schakelaar (dunne lijnen). De stroom i van de multiplierbuis PM laadt condensator C. Dit betekent dat de spanning van rooster g_1 van de penthode P geleidelijk sterker negatief zal worden, de anodestroom van de penthode en bijgevolg ook de spanningsval over de weerstand R_3 zal afnemen en de spanning van rooster g_2 van de relaisbuis RT geleidelijk sterker positief zal worden. Als de spanning aan de condensator (in serie met de weerstand R, welks rol in de tekst wordt uiteengezet) de waarde E bereikt, is het rooster g_2 in zo hoge mate positief geworden, dat de relaisbuis RT ontsteekt, het relais Re opkomt en de voeding van de röntgenbuis, die plaats vindt over 1-2, onderbroken wordt. (De relaisbuis moet een zodanige karakteristiek hebben, dat zij bij positieve rooster-spanningen ontsteekt.) De spanning tussen twee opeenvolgende elektroden van de multiplierbuis wordt afgetakt van de potentiometer R_1 en geregeld door de variabele serie-weerstand R_2 . Op deze wijze is de versterkingsfactor, waarvan de verkregen zwarting van de miniatuur-röntgenfoto's afhangt, tussen wijde grenzen regelbaar. — Het relais Re' van de veiligheids-schakelaar komt op, wanneer een andere relaisbuis RT' ontsteekt; de roosterspanning van deze buis (in tegenstelling met die van RT) neemt toe met een snelheid die onafhankelijk is van de verlichting van het scherm, daar de condensator C' wordt geladen door een stroom i' die wordt geleverd door het voedingsapparaat. Door deze stroom te regelen met behulp van de variabele serie-weerstand R_4 , kan de veiligheids-schakelaar van te voren op een gewenste tijdgrens voor de belichting worden ingesteld. — Na een opname worden de beide relaisbuizen gedooft door onderbreking van hun anodeketens. Tevens worden de condensatoren ontladen; het laden begint opnieuw als de röntgenbuis wordt belast.

tijd nodig heeft voor het uitschakelen. Indien geen voorzorgsmaatregelen worden genomen, zullen alle belichtingstijden t , die de multiplicatorbuis decretereert, worden verlengd met deze constante uitschakeltijd T , die ongeveer 1/60 seconde bedraagt. Hierdoor zal de gewenste omgekeerde evenredigheid tussen de werkelijke belichtingstijd $t' (= t + T)$ en de helderheid van het fluorescerende scherm (sterkte van de fotostroom) niet nauwkeurig worden verwezenlijkt. Om deze kleine, doch niet te verwaarlozen afwijking te corrigeren, is in de stroomkring van de multiplicatorbuis in serie met de te laden condensator nog een weerstand R opgenomen, zoals in fig. 6 is aangegeven. Zonder de weerstand, zou de volgende vergelijking gelden:

$$\frac{i \cdot t}{C} = E, \dots \dots \dots (1)$$

waarin C de capaciteit van de condensator is die wordt geladen door de fotostroom i , en E de spanning op het rooster g_1 (fig. 6) die nodig is voor het ontsteken van de relaisbuis. Derhalve zou de totale belichtingstijd zijn:

$$t' = t + T = \frac{CE}{i} + T.$$

Met de weerstand echter geldt in plaats van (1):

$$\frac{i \cdot t}{C} + i \cdot R = E. \dots \dots \dots (2)$$

Dus:
$$t' = t + T = \frac{CE}{i} - RC + T.$$

Kiest men R zo, dat

$$RC = T,$$

dan krijgt men:

$$t' = \frac{CE}{i},$$

dwz. de gewenste constantheid van het product $i \cdot t'$, dat de zwarting van de miniatuur-foto bepaalt, is bereikt.

Een verdere ontwikkeling om de bediening van het apparaat te vergemakkelijken, is de toepassing van een belichtingsautomaat die ook voor het nemen van röntgenfoto's op ware grootte kan worden gebruikt, indien zulks gewenst is. Deze wordt dan door omzetten van de desbetreffende schakelaar op de schakellessenaar automatisch op de juiste zwarting voor de grote foto's ingesteld. Het gemak waarmee zodoende röntgenfoto's op ware grootte kunnen worden vervaardigd, is voor opdrachten in afgelegen plaatsen van groot belang. Hier zal men nl., na het ontwikkelen en bekijken van de film, de

ontdekte verdachte gevallen dadelijk nog eens ontbieden om met dezelfde apparatuur normale röntgenfoto's van hen te nemen.

Hier mogen nog enkele opmerkingen worden gemaakt over de bedrijfszekerheid van de gehele apparatuur. Aan dit punt werd speciale aandacht besteed, daar de installatie bij vele opdrachten ver van haar „basis” zal moeten werken, zodat eventuele storingen een aanzienlijk oponthoud zouden kunnen veroorzaken. In dit verband is het een belangrijke eigenschap van het apparaat dat de röntgenbuis, die normaal wordt gevoed met tweefasig gelijkgerichte wisselspanning, ook rechtstreeks met wisselspanning kan worden bedreven (gesteld dat men een hiervoor geschikt buistype in gebruik heeft). Onder normale omstandigheden wordt de eerder genoemde ventielbak, die vier onder olie gemonteerde hoogvacuumventielen in Graetz-schakeling en een gloeistroomtransformator voor de röntgenbuis bevat, in serie geschakeld met de twee helften van de hoogspanningstransformator; zie fig. 7. Het is duidelijk dat de ventielen en de röntgenbuis de kwetsbaarste onderdelen van de installatie zijn, daar zij een begrensde (zij het dan zeer lange) levensduur bezitten⁷⁾. In de regel wordt met de installatie een reserve-röntgenbuis meegenomen, doch het is niet wel doenlijk een reserve-exemplaar van de nogal zware ventielbak mee te nemen (het vervangen van een ventielbuis op de plaats van bedrijf is minder gewenst wegens de olievulling van de bak). Derhalve is het kathode-gedeelte (A') van de hoogspanningstransformator voorzien van een extra gloeistroomtransformator, die onder normale omstandigheden niet in bedrijf is, doch waardoor het mogelijk is de röntgenbuis onmiddellijk met de transformator te verbinden, zodat de gehele ventielbak wordt geëlimineerd. Op deze wijze kan in noodgevallen een reeds aan de gang zijnd onderzoek worden voortgezet met wisselspanning aan de röntgenbuis. Natuurlijk zal de toelaatbare belasting van de buis in dit geval lager zijn en zal men dus met een mindere kwaliteit van de foto's genoegen moeten nemen.

Soortgelijke voorzorgsmaatregelen, die de voortzetting van een begonnen serie-onderzoek garanderen, zijn genomen voor de belichtingsautomaat en voor de motoraandrijving van de hoogte-instelling. Elk van deze hulpmiddelen is uitgevoerd als een eenheid die gemakkelijk in haar geheel kan worden verwijderd en door een andere vervangen; ook kan desgewenst een hand- of uurwerkschakelaar in de plaats van de belichtingsautomaat worden gezet, en de gewone handaandrijving in de plaats van de motor voor de hoogte-instelling.

Bescherming tegen stralen

Bij een massa-röntgenonderzoek waarbij grote aantallen opnamen moeten worden gemaakt op allerlei plaatsen, zoals in fabrieken, schoollokalen, kazernes, enz., moet speciale aandacht worden besteed aan de bescherming van alle betrokkenen tegen de röntgenstralen. Het behoeft nauwelijks uitdrukkelijk te worden gezegd dat de röntgenbuis van het moderne, afgeschermd type moet zijn, waarbij slechts een röntgenstralenbundel wordt uit-

⁷⁾ Aangezien bij de buizen met draaiende anode die in dit apparaat worden gebruikt, de gloeidraad het gedeelte is dat het eerst bezwijkt, heeft men deze buizen voorzien van twee gloeidraden die twee op dezelfde plaats gelegen foci leveren. Brandt een gloeidraad door, dan wordt de andere ingeschakeld door eenvoudig de aansluitsteker van de kathodekabel een halve slag gedraaid in de stekerbuis te zetten. Op deze wijze kon de levensduur van de röntgenbuis aanzienlijk worden verlengd.

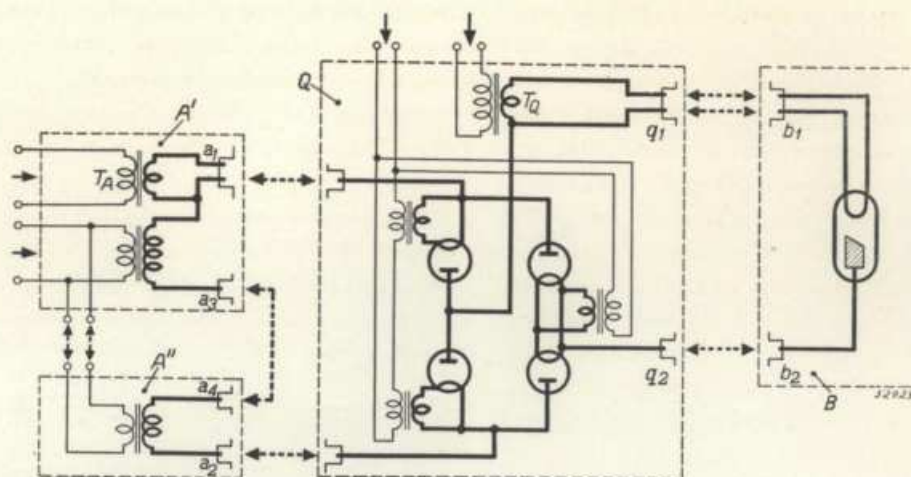


Fig. 7. Schakelschema van de voeding van de röntgenbuis (B). A' en A'': helften van de hoogspanningstransformator, die elk 50 kV, 200 mA leveren. Q: gelijkrichter, die vier ventielen en de gloeistroomtransformator T_Q voor de röntgenbuis bevat. De stekerbussen a_1 en q_1 zijn volkomen aan elkaar gelijk, evenals a_2 en q_2 . Derhalve kan de gehele gelijkrichter Q gemakkelijk worden geëlimineerd, indien één van de ventielen defect mocht raken: de kabel van b_1 wordt dan aangesloten op a_1 en die van b_2 op a_2 ; de reserve-gloeistroomtransformator T_A neemt automatisch de gloeidraadvoeding van de röntgenbuis over. De röntgenbuis werkt in dat geval op wisselspanning.

gestraald in de richting van de te onderzoeken persoon (en waarbij geen aanraking van spanning voerende delen mogelijk is). Een verdere gebruikelijke maatregel is het, de persoon die de apparatuur bedient te beschermen tegen de door de patient, het fluorescerende scherm, enz. verstrooide stralen; hij wordt achter een scherm geplaatst (zie fig. 2), dat is voorzien van vensters van loodglas. Het scherm bestaat uit 1,5 mm dikke staalplaat, hetgeen gelijkwaardig is aan een laag van 0,25 mm lood. Hier kon, wat de materiaalkeuze betreft, niet naar een beperking van het gewicht worden gestreefd, aangezien de röntgenstralen-absorptie juist min of meer samengaat met het gewicht.

Als er bij het maken van de foto's nog ander personeel assisteert, dat in de buurt van de patient staat, dan moeten deze personen door middel van soortgelijke schermen beveiligd worden.

Het gevaar dat andere personen door straling worden getroffen, moet zoveel mogelijk beperkt worden door de apparatuur zo op te stellen dat de röntgenbuis op een buitenmuur of een leeg lokaal is gericht. Bij het beschreven apparaat wordt het genoemde gevaar bovendien nog tot een minimum gereduceerd door vóór het venster van de röntgenbuis een diafragma te plaatsen, dat alle stralen van de primaire bundel die buiten het fluorescerende scherm zouden vallen, afsnijdt. Daar bij dit apparaat drie verschillende afstanden tussen focus en scherm mogelijk zijn, — voor röntgenfoto's op ware grootte bijv. wordt een grotere afstand gewenst dan voor de miniatuur-foto's — dient het

diafragma voor elk van deze drie afstanden op een verschillende plaats in de houder te worden gezet (zie fig. 8a, b, c), teneinde in alle drie gevallen de primaire straling precies tot het schermoppervlak te beperken.

De stralenbundel zelf is niet scherp begrensd, ten gevolge van de eindige breedte van het focus (1,5 mm bij buizen met roterende anode, 4-5 mm bij stationnaire anode): rondom de nuttig gebruikte bundel is een „halfschaduw” aanwezig, die met toenemende afstand tot de buis geleidelijk breder wordt. Dit halfschaduwgebied moet men noodzakelijkerwijze buiten het fluorescentiescherm laten vallen. Nu blijkt uit fig. 8d dat het ongewenste halfschaduwgebied kleiner wordt naarmate men het bovengenoemde diafragma (D_1) op een grotere afstand van de buis plaatst. Om dit te kunnen doen zonder in zeer grote afmetingen te vervallen voor de diafragma-ring, die tot taak heeft de nutteloze buitenste gedeelten van de primaire bundel te absorberen, is een tweede diafragma (D_2) dichter bij de röntgenbuis aangebracht. Dit onderschept een groot gedeelte (IV) van de nutteloze buitenste stralen, waarna de nauwkeurige begrenzing van de resterende bundel aan het eerste diafragma wordt overgelaten, waarvan de grootte op deze wijze binnen redelijke grenzen wordt gehouden.

Installatie voor onderzoek van ziekenhuispatienten

Onder de groepen personen die voor een systematisch longonderzoek in aanmerking komen, zijn de ziekenhuispatienten een van de belangrijkste. Gezien het feit dat in de ziekenhuizen bijv. in de Verenigde Staten per jaar 16 000 000 patienten worden opgenomen, zal het duidelijk zijn, dat een groot gedeelte van de gehele bevolking op deze wijze zou kunnen worden onderzocht. Wat de organisatie betreft, is het onderzoek van patienten, direct bij de opneming in het ziekenhuis, een betrekkelijk gemak-

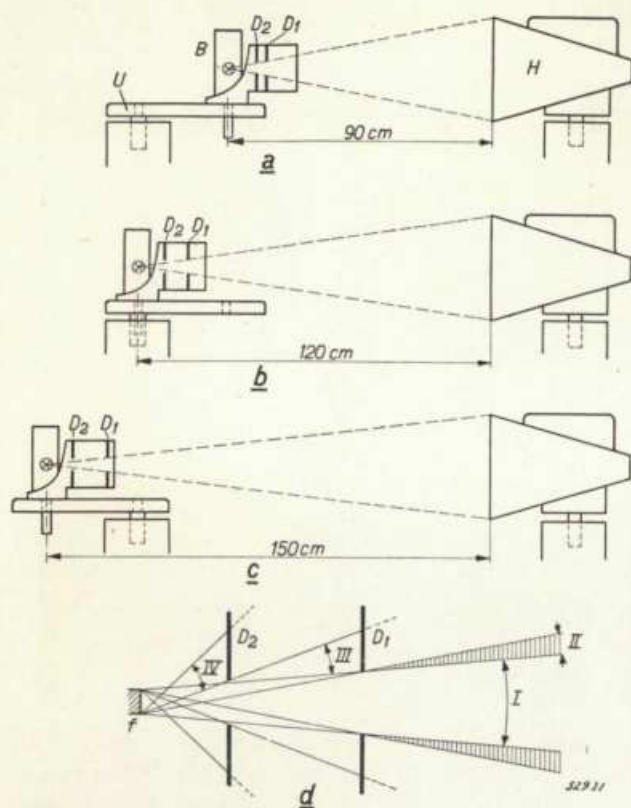


Fig. 8. De röntgenstralenbundel, die de röntgenbuis *B* uitzendt, wordt door middel van het diafragma *D*₁ beperkt tot de ruimtehoek waaronder het focus de koker *H* (oppervlakte van het scherm) ziet. De buis kan op drie verschillende afstanden van de koker worden geplaatst, daar de console *U* voor de buis twee gaten heeft, waarin de montagepen van de buis naar keuze kan worden gestoken, en de console zelf naar vóór of naar achter uitstekend op de kolom kan worden gezet (*a*, *b*, *c*). Overeenkomstig deze drie afstanden tussen focus en scherm moet het diafragma in drie standen worden geplaatst, die op de diafragmahouder zijn aangegeven. Het hulpdiafragma *D*₂, dat het mogelijk maakt de afmetingen van diafragma *D*₁ klein te houden, blijft steeds op dezelfde plaats staan. — Ten gevolge van de eindige breedte van het focus *f* is de röntgenstralenbundel die het diafragma doorlaat, niet scherp begrensd (*d*). Slechts het gedeelte *I* van de bundel kan men gebruiken voor de bestraling van het fluorescerende scherm; de gedeelten *III* en *IV* worden door de ringen van de diafragma's *D*₁ en *D*₂ tegengehouden; gedeelte *II* is de halfschaduw.

kelijke taak, en met het oog op de mogelijke gevolgen is het vaststellen van gevallen van tuberculose bij deze personen (en bij het ziekenhuispersoneel) bijzonder belangrijk. De reeds verkregen ervaringen tonen aan, dat bij 1,5-4,3% van alle in een ziekenhuis opgenomen personen (afhankelijk van de leeftijd, de maatschappelijke omstandigheden, enz. van de onderzochte groepen) belangrijke tuberculeuze afwijkingen van de longen aanwezig zijn, dwz. afwijkingen die een medisch ingrijpen, hetzij

in de vorm van behandeling, hetzij in de vorm van controle, nodig maken. Als bijkomstige omstandigheid zij nog vermeld, dat in 10-20% van de gevallen niet-tuberculeuze aandoeningen van longen, hart, ruggegraat of andere lichaamsdelen die op de foto's zichtbaar zijn, aan het licht komen ⁸⁾.

Een röntgeninstallatie voor dit speciale, in ziekenhuizen uit te voeren onderzoekwerk behoeft niet transportabel te zijn, doch aan de andere kant moet zij geschikt zijn zowel voor lopende als voor bedlegerige patienten. De North American Philips Co.

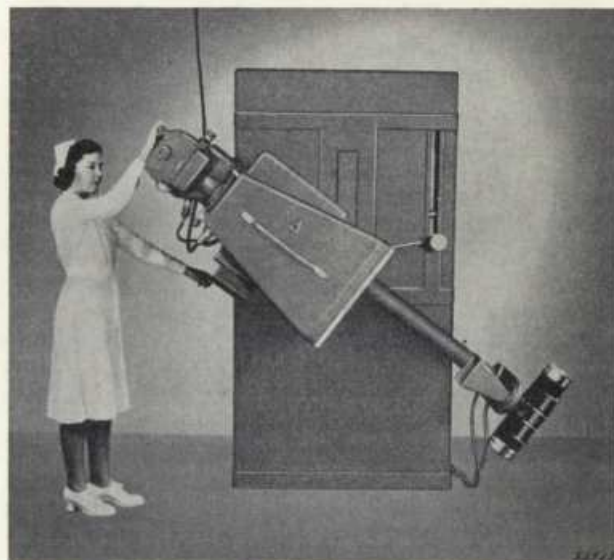
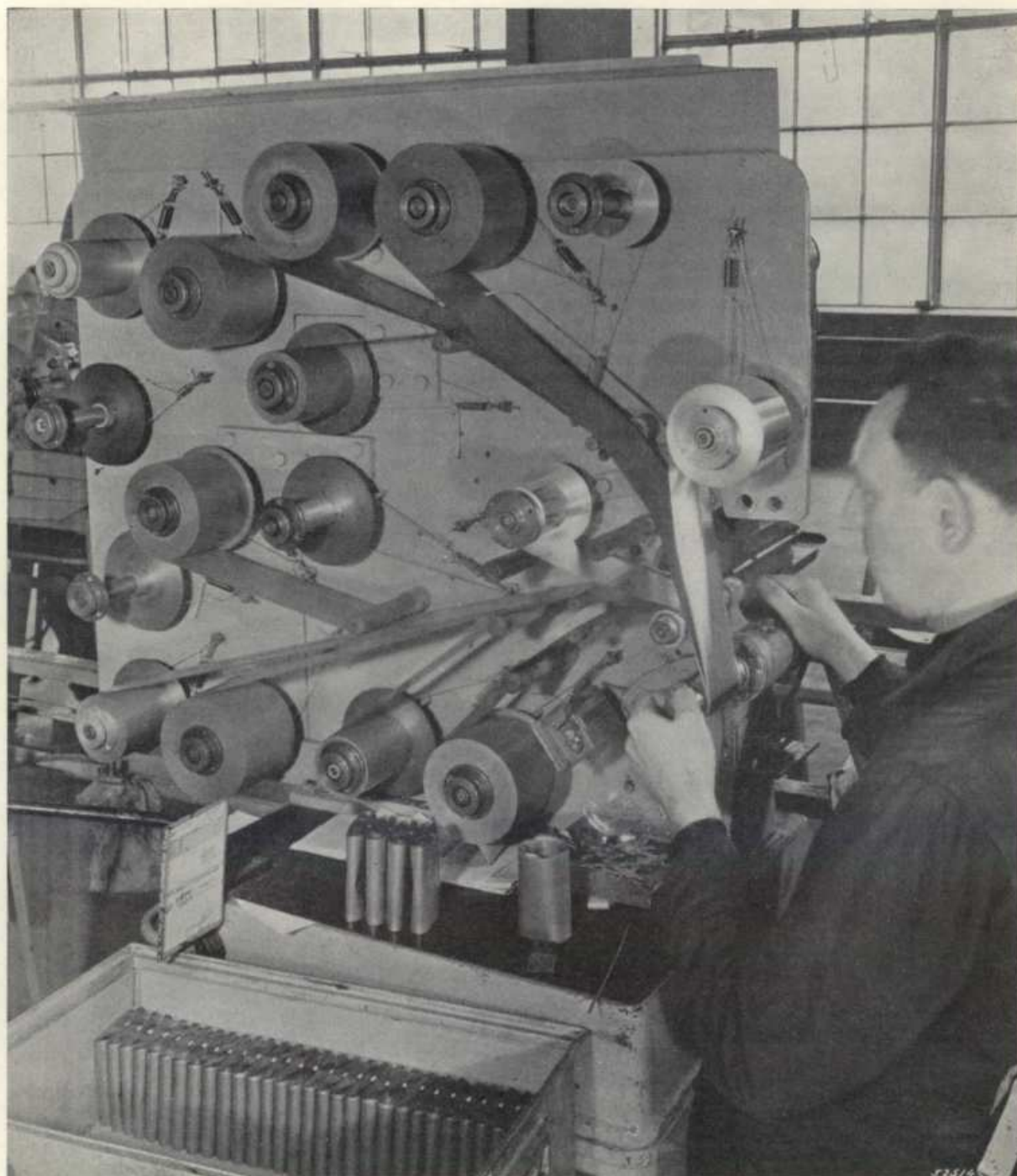


Fig. 9. Röntgeninstallatie voor massa-longonderzoek van patienten bij opneming in een ziekenhuis. Om ook röntgen-camera-foto's van brancard-patienten te kunnen maken, kunnen de röntgenbuis en de koker in verticale stand boven elkaar worden gebracht.

heeft voor dit doel een speciale installatie ontworpen, zie fig. 9. De röntgenbuis en de koker van dit apparaat zijn elk gemonteerd aan een einde van een steunarm, die over een hoek van ca 100° kan worden gezwenkt. Hierdoor wordt de mogelijkheid geboden tot longopnamen van patienten die op een brancard liggen. Voor het overige is de installatie vrijwel gelijk aan de boven beschrevene.

⁸⁾ Deze mededelingen zijn ontleend aan een rapport dat werd uitgegeven in 1946 door de Council on Professional Practice van de American Hospital Organization. In dit rapport wordt melding gemaakt van een enquête, die in 1943 onder 934 grote ziekenhuizen werd gehouden en waaruit bleek, dat 46 hiervan toen reeds gewoon waren bij alle binnenkomende patienten een longonderzoek te verrichten. Tegenwoordig zullen het er zeker veel meer zijn.

FABRICAGE VAN PAPIERCONDENSATOREN



Op deze foto ziet men het wikkelen van papiercondensatoren. De bekleedselen worden gevormd door stroken aluminium, die van de twee blanke rollen af komen. Het dielectricum bestaat uit lagen papier, dat van de andere rollen af wordt toegevoerd; het aantal lagen en de dikte van iedere laag worden gekozen naar gelang van de spanning die de condensator moet kunnen verdragen. In dit geval bedraagt het aantal lagen 5. Een tweede stel lagen is nodig om de bekleedselen, die ten gevolge van het oprollen aan weerskanten dienst doen, ook aan beide zijden te isoleren. Contact met de bekleedselen wordt gemaakt door reepjes bladkoper, die men ziet liggen onder de linkerhand van de wikkelaar. Wijst de toerenteller (links van deze hand) het aantal omwentelingen aan dat voor de gewenste capaciteit nodig is, dan neemt de wikkelaar de zg. wikkel van de pen waarop hij zich bevindt en drukt hem plat. De wikkel neemt dan de vorm aan van de wikkels die men in de bak links beneden ziet. In een volgende bewerking worden de wikkels elektrisch verbonden en in een metalen doos geplaatst, die vervolgens onder vacuum wordt geïmpregneerd en dichtgesoldeerd.

DE TAAK VAN DE BEKLEDING VAN LASSTAVEN

door J. D. FAST.

621.791.753: 66.046.58

Nadat in een vorig artikel de fysisch-chemische factoren die bij het lassen met onbeklede staven een rol spelen, besproken zijn, worden hier de eisen welke aan de bekleding moeten worden gesteld, aan een nadere analyse onderworpen. Daarbij wordt eerst ingegaan op de aard van de krachten waardoor het metaaltransport tot stand komt, en onderzocht onder welke omstandigheden ijzeroxyde in de bekleding porositeit van de lassen kan veroorzaken. Bij de bespreking van de bescherming, die de slak tegen zuurstof en stikstof kan bieden, wordt uitgegaan van een geïdealiseerd geval, waarbij vloeibaar ijzer bedekt is met een eenvoudige slak, die alleen uit vloeibaar SiO_2 bestaat. Vervolgens wordt de aandacht gericht op meer gecompliceerde slakken en ten slotte worden de in de techniek toegepaste bekledingen en slakken besproken. Een bevredigende bescherming tegen zuurstof blijkt slechts te kunnen worden verkregen, indien het gebruik van oxyden met een vormingswarmte kleiner dan ca 100 kcal per gramatoom zuurstof in de bekleding geheel wordt vermeden. Een maximale bescherming tegen stikstof vereist het toepassen van slakken met een gering oplossend vermogen voor dit gas. Naast de eisen betreffende de beschermende werking tegen zuurstof en stikstof, het metaaltransport en het verhinderen van porositeit worden aan de bekleding en de slak vele andere eisen gesteld, die eveneens worden besproken. Deze eisen zijn zo talrijk en uiteenlopend, dat het nodig was, verschillende soorten lasstaven te ontwikkelen, die elk een bepaald aantal gunstige eigenschappen hebben. De voornaamste van de door Philips gefabriceerde typen worden besproken.

Inleiding

In een vorig artikel ¹⁾ hebben we gezien, dat het, indien men lassen wil verkrijgen met bevredigende mechanische eigenschappen, noodzakelijk is de lasstaven van een bekleding te voorzien. Uit het materiaal van deze bekleding ontstaat de slak, waarvan het voornaamste doel is het afsmeltende metaal tegen de inwerking van zuurstof en stikstof te beschermen.

Men gebruikt bekledingen van zeer verschillende samenstelling en dit behoeft geen verbazing te wekken, indien men acht slaat op de talrijke gezichtspunten die, naast de bescherming tegen zuurstof en stikstof, bij de samenstelling van de bekleding een rol spelen. Wij zullen op deze gezichtspunten in dit artikel nog nader ingaan.

Wanneer we de taak van de bekleding bezien en ons afvragen, welk materiaal daarvoor het meest geschikt is, dan moet in de eerste plaats worden bedacht, dat men in de praktijk gedwongen is daarvoor naast andere stoffen ook oxyden te gebruiken. Indien deze oxyden een betrekkelijk geringe stabiliteit bezitten (o.a. tot uitdrukking komende in een niet zeer grote vormingswarmte), kan het ijzer, dat beschermd moet worden, reeds door reactie met deze stoffen een hoeveelheid zuurstof opnemen. Dit geldt vooral voor staven die grote hoeveelheden ijzeroxyde in hun bekleding bevatten en die we in dit artikel als elektroden Ph 46 zullen leren kennen. Van een bescherming tegen zuurstof kan bij dit type staven nauwelijks worden

gesproken, wel van een zekere bescherming tegen stikstof. Staven die behalve ijzeroxyde o.a. reducerende metaalpoeders in hun bekleding bevatten (elektroden Ph 50), bieden reeds een veel betere bescherming. Van een volledige bescherming tegen oxydatie is ook hier echter nog geen sprake. Om dit te bereiken moet het gebruik van ijzeroxyden en van andere oxyden met betrekkelijk geringe vormingswarmten geheel worden vermeden. Dit is het geval bij de elektroden Ph 55 en Ph 56.

Nu bleek in het onder ¹⁾ geciteerde artikel, dat de krachten waardoor de ijzerdruppels tijdens het lassen worden uitgestoten, bij onbeklede elektroden te danken zijn aan de chemische reactie tussen de in het metaal van de lasstaaf aanwezige koolstof en de uit de lucht opgenomen zuurstof. Een effectieve bescherming tegen oxydatie, zoals deze wordt geboden door de bekledingen der elektroden Ph 55 en Ph 56, schakelt deze reactie echter bijna geheel uit. De taak van de CO-ontwikkeling zal hier blijken te worden overgenomen door stoffen in de bekleding die tijdens het lassen grote hoeveelheden gas ontwikkelen. De genoemde bekledingen bevatten namelijk aardalkalicarbonaten, stoffen die reeds werden toegepast voordat men zich van deze belangrijke zijde van hun taak bewust was.

Het gebruik van ijzeroxyde heeft nog andere nadelen dan het hiervoor reeds genoemde. Wij zullen namelijk zien, dat als gevolg van zijn aanwezigheid, met de elektroden Ph 46 steeds poriën-bevattende lassen worden verkregen. Bij gebruik

¹⁾ J. D. Fast, De rol van zuurstof en stikstof bij het booglassen, Philips techn. T. 10, 27-35, 1948 (No. 1).

van de elektroden Ph 50 is dit onder normale omstandigheden weliswaar niet het geval, maar geringe wijzigingen in de omstandigheden leiden hier eveneens tot porositeit der lassen.

Merkwaardigerwijze blijken de bekledingen met ijzeroxyde ook tegen stikstof een minder goede bescherming te bieden dan de bekledingen van de staven Ph 55 en Ph 56. We zullen zien (zie de laatste paragraaf in kleine letter), dat dit samenhangt met een groter oplossend vermogen voor stikstof van de uit de ijzeroxyde-houdende bekledingen gevormde slakken. Men moet namelijk bedenken, dat weliswaar een direct contact van het metaal met de lucht door de aanwezigheid van de slak wordt verhinderd, doch dat de slak zelf zuurstof en stikstof uit de lucht kan opnemen en daarna door diffusie en stroming aan het metaal overdragen. Om zowel deze kwestie als de reactie tussen bekleding (resp. slak) en metaal te verduidelijken, zullen we in dit artikel een geïdealiseerd geval beschouwen, nl. dat waarbij vloeibaar ijzer bedekt is met een zeer eenvoudige slak die slechts uit vloeibaar SiO_2 bestaat. Pas daarna zullen we de meer ingewikkelde slakken bespreken die in de techniek gebruikt worden, en onderzoeken in hoeverre de bekleding voldoet aan de eisen die gesteld moeten worden. Deze eisen zullen, behalve op de beschermende werking en het ontwikkelen van gassen, o.a. betrekking blijken te hebben op het smelttraject, op de elektronenemissie, op de viscositeit en op de uitzettingscoëfficiënt van het materiaal van de slak.

Het artikel besluit met een nadere bespreking van de verschillende typen staven. Hierbij komt ook terloops een nog niet genoemd type ter sprake met betrekkelijk grote hoeveelheden organische stoffen in de bekleding (elektroden Ph 48).

De rol van gassen uit de bekleding bij het metaaltransport en bij de inbranding

Bij het lassen met de elektroden Ph 46 en Ph 50, die ijzeroxyde in hun bekleding bevatten, daalt het koolstofgehalte van het metaal door oxydatie met ten minste enkele honderdsten procent, zodat hier, evenals bij onbeklede staven, de reactie tussen zuurstof en de koolstof in de staaf een bijdrage kan leveren tot het metaaltransport. Dat dit bij beklede staven echter niet de enige bepalende factor is, blijkt uit het feit, dat men met de elektroden Ph 55 en Ph 56 (bekleding: waterglas + CaF_2 + CaCO_3 + reducerende metaalpoeders) goed boven het hoofd kan lassen, hoewel bij dit type de slak een zo goede bescherming biedt, dat praktisch geen vermindering van het C-gehalte optreedt.

Om uit te maken waaraan in dit geval de kracht te danken is die de druppeltjes met zulk een grote snelheid uitstoot, hebben wij enkele van deze staven gedurende twee uur in stromende argon op 850°C verhit, waardoor het chemisch gebonden H_2O en CO_2 uit de bekleding werd uitgedreven. Na deze verhitting bleek het niet meer mogelijk om met deze staven boven het hoofd te lassen. Er vormden zich aan het uiteinde van de electrode druppels, die steeds groter werden en ten slotte naar beneden vielen. Een overgang naar het werkstuk kwam nagenoeg niet tot stand. Dit wordt gedemonstreerd door fig. 1.

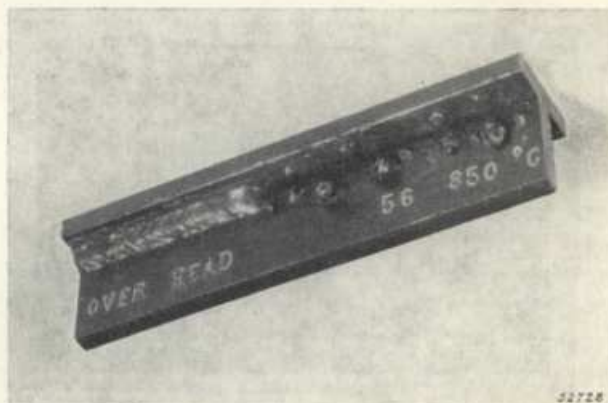
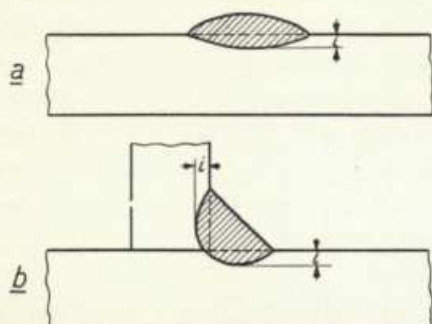


Fig. 1. De invloed van een verhitting van een beklede lasstaaf (type Ph 56) gedurende twee uren in stromende argon op een temperatuur van 850°C . De linkerhelft van de foto vertoont een met een normale Ph 56-staaf boven het hoofd gelegde las. Nadat een staaf op de zoëven genoemde wijze verhit was, gelukte het niet een las „boven het hoofd” aan te brengen, hoewel een bekwaam lasser zich daarvoor alle moeite gaf. Deze is er, zoals men op de rechterhelft van de foto ziet, alleen in geslaagd enkele druppels lasmateriaal op het werkstuk te brengen, maar van een las is geen sprake.

Daarentegen zijn de staven van dit type, indien zij niet van te voren op 850°C zijn gebakken, juist bijzonder geschikt voor lassen boven het hoofd. Dit berust op het feit, dat de oppervlaktespanning en de viscositeit van het gesmolten metaal groter zijn naarmate het zuurstofgehalte kleiner is. Bij de typen Ph 46 en Ph 50 is het zuurstofgehalte van het neergesmolten metaal zo groot, dat het vloeibare ijzer bij lassen boven het hoofd de neiging vertoont uit de poel naar beneden te druipen.

Uit het voorgaande blijkt, dat de gassen die tijdens het lassen met niet op 850°C verhitte staven uit de bekleding worden uitgedreven, de vroeger beschreven rol van de CO-ontwikkeling in het uiteinde van de electrode kunnen overnemen. De druppels worden onder invloed van deze vrijkomende gassen met grote snelheid weggeslingerd. Bovendien blaast nu een krachtige, hete gasstroom tegen het werkstuk, waardoor een goede inbranding wordt verkregen. (Fig. 2 illustreert wat

we hieronder verstaan.) De blaaswerking bij lassen met niet op 850 °C verhitte, beklede elektroden blijkt ook daaruit, dat na het beëindigen van het lassen steeds een zogenaamde krater²⁾ in het gestolde metaal aanwezig is.



52617

Fig. 2. De diepte waarover het grondmetaal tijdens het lassen smelt, noemt men de inbranding. De grootte van de inbranding is met de letter *i* aangegeven: a) bij een rups op een vlakke plaat, b) bij een staande hoeklas.

Aan een goede bekleding moet dus de eis worden gesteld, dat zij tijdens het afsmelten een krachtige gasstroom ontwikkelt. Aan deze eis wordt in de regel voldaan door het toevoegen van carbonaten of organische stoffen aan de bekleding. De gassen ontwijken gedeeltelijk als H₂O en CO₂ en gedeeltelijk (o.a. door reactie met de reducerende metaalpoeders in de bekleding) als H₂ en CO. Tussen deze gassen stelt zich in de omgeving van de boog, zoals door Mallett³⁾ experimenteel werd geconstateerd, het watergasevenwicht in:



Het gehalte aan H₂O en H₂ van de booggassen is bij de elektroden Ph 55 en 56 zeer klein. De oorzaak hiervan is, dat deze elektroden, alvorens aan de verbruikers te worden afgeleverd, op een zodanige temperatuur door de fabrikant worden verhit, dat de carbonaten in de bekleding niet ontleden, maar het gebonden water grotendeels wordt uitgedreven. Bij het lassen met dit type staven kan het gesmolten metaal dientengevolge geen of praktisch geen waterstof opnemen en dit heeft het grote voordeel, dat men geen vrees behoeft te hebben voor de moeilijkheden die zich bij het vrijkomen van dit gas kunnen voordoen. Zonder hierop dieper in te gaan, vermelden wij, dat de voornaamste daarvan zijn: het optreden van porositeit en, bij het lassen van staalsoorten met een betrekkelijk hoog gehalte aan koolstof, het

ontstaan van scheuren in de overgangszône („underbead-cracking”).

De rol van ijzeroxyde bij het optreden van porositeit in lasrupsen

Behalve de hierboven genoemde, zg. waterstofporositeit, kan men onder bepaalde omstandigheden (speciaal bij lassen met staven die ijzeroxyde in de bekleding bevatten) ook last krijgen van CO-porositeit. Bij de elektroden Ph 50, waarvan de bekleding o.a. ijzeroxyde en reducerende metaalpoeders (ferromangaan en ferrosilicium) bevat, zijn de verhoudingen zo gekozen dat bij normaal werken poriën-vrije lassen worden verkregen.

Worden de reducerende metaalpoeders uit de bekleding verwijderd, dan worden de lassen, door vergrote CO-ontwikkeling in het neergesmolten metaal, zeer poreus. Merkwaardigerwijze schijnt ook een vermindering van de CO-ontwikkeling tot porositeit in de lassen te leiden. De volgende experimenten wijzen in die richting.

Dikwandige buizen van week staal (diameter: uitwendig 25 mm, inwendig 4 mm) werden aan een zijde dichtgelast, waarna het inwendige werd opgevuld met een staaf van zeer zuiver aluminium, titanium of zirconium met een zodanige lengte, dat ca 8 mm van de ijzeren buis ongevuld bleef. Dit open einde werd vervolgens dichtgelast nadat er ter bescherming van het Al, Ti of Zr tegen oxydatie een conische ijzeren pen in was geslagen. De zo gevormde staven met kern werden gehamerd en getrokken tot draad van 4 mm diameter, na verwijdering van de einden in stukken geknipt, en van bekledingen van het type Ph 50 voorzien. Met de aldus verkregen lasstaven werden zeer poreuze lasrupsen verkregen, terwijl 4 mm dikke staven van gewoon week ijzer en voorzien van dezelfde bekleding, poriënvrije rupsen gaven.

Er kan weinig twijfel aan bestaan, of de gasontwikkeling, die in de gesmolten poel steeds plaats vindt, door de toevoeging van Al, Ti of Zr aan de kerndraad sterk verminderd wordt. Een vermindering van de gasontwikkeling schijnt dus in bepaalde gevallen een vergroting van de porositeit te kunnen veroorzaken. Dit moet waarschijnlijk daaraan worden toegeschreven, dat de gassen bij een zeer langzame ontwikkeling gemakkelijker worden ingesloten door het stollende metaal. Dit stemt overeen met de ervaringen opgedaan bij de bereiding van staal⁴⁾.

In overeenstemming met het voorgaande is ook,

²⁾ Onder de krater verstaat men in de lastechniek de aan het einde van een lasrups aanwezige ovale depressie in het gestolde metaal.

³⁾ M. W. Mallett, Welding J. 25, 396s-399s, 1946.

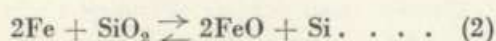
⁴⁾ Vgl. bijv. A. Hultgren en G. Phragmen, Trans. A.I.M.E. (Iron and steel division) 135, 133-244, 1939.

dat Doan en Smith bij hun lasexperimenten in helium en argon (zie het onder ¹) geciteerde artikel) veel poreuzere rupsen kregen dan bij lassen in de lucht. Ook hier is er weinig twijfel mogelijk, dat de gasontwikkeling in de gesmolten poel bij lassen in helium of argon geringer was dan bij lassen in de lucht.

Het evenwicht tussen vloeibaar SiO_2 en vloeibaar Fe.

Nadat in het voorgaande op de aard van de krachten werd ingegaan die de druppels met grote snelheid uitdrijven bij het lassen met beklede elektroden, en nadat werd nagegaan onder welke omstandigheden ijzeroxyde in de bekleding tot het optreden van poreuze lassen kan leiden, willen wij in het volgende dieper ingaan op de bescherming die een slak tegen zuurstof en stikstof kan bieden.

Alle in de techniek toegepaste slakken bevatten SiO_2 en we willen daarom onze aandacht allereerst richten op het evenwicht tussen vloeibaar SiO_2 en vloeibaar Fe:



De ligging van dit evenwicht kan met behulp van thermodynamische methoden geheel worden berekend uit reactiewarmten, soortelijke warmten, smeltingswarmten en oplossingswarmten ⁵). Bij deze reactie worden niet te verwaarlozen hoeveelheden FeO gevormd, waarvan het grootste gedeelte in het SiO_2 en een kleiner gedeelte in het ijzer wordt opgenomen.

Tabel I geeft de berekende evenwichtgehalten aan Si en O van het metaal en aan FeO van de slak voor verschillende molverhoudingen SiO_2/Fe en voor een temperatuur van 2000 °K.

Tabel I. Berekende samenstellingen van metaal en slak voor het evenwicht tussen vloeibaar SiO_2 en vloeibaar Fe bij 2000 °K.

Molverhouding SiO_2/Fe	Metaal		Slak Gew. % FeO
	Gew. % Si	Gew. % O	
1/16	0,12	0,083	3,45
1/8	0,15	0,074	3,09
1/4	0,20	0,064	2,67
1/2	0,28	0,054	2,23

De in tabel I vermelde waarden maken geen aanspraak op absolute juistheid, maar zij leren in elk geval, dat zelfs bij afwezigheid van gasvormige zuurstof reeds niet te verwaarlozen hoeveelheden zuurstof uit een zuivere SiO_2 -slak door het vloeibare

ijzer kunnen worden opgenomen. Bij de nog hogere temperaturen, die door het ijzer bij het electrisch lassen worden bereikt, liggen de evenwichtsverhoudingen in dit opzicht zelfs nog ongunstiger.

Een gelukkige omstandigheid is echter de korte tijdsduur van het lassen, waardoor men steeds tamelijk ver verwijderd blijft van de evenwichtstoestand. Bovendien wordt volgens tabel I door het ijzer tevens een hoeveelheid Si opgenomen, veel groter dan nodig om de opgeloste zuurstof bij het afkoelen volledig tot SiO_2 te binden.

Indien als derde phase lucht aanwezig is, moeten wij (zoals hierboven reeds werd opgemerkt) ook nog rekening houden met het feit, dat de slak hiertegen geen volledige bescherming biedt, aangezien hij steeds een zekere permeabiliteit voor gasen zal bezitten.

Permeabiliteit van de SiO_2 -slak voor zuurstof en stikstof

Uit metingen van verscheidene onderzoekers kan worden afgeleid dat een wand van zuiver SiO_2 (kwartsglas) van 1 mm dikte en 1 cm^2 oppervlakte bij een drukverschil aan weerszijden van de wand van 1 atmosfeer, hoeveelheden zuurstof doorlaat die, voor een temperatuur T tussen 950 en 1200 °K, worden gegeven door de vergelijking:

$$m = 1,2 \cdot 10^{-2} e^{-15600/T} \text{ gram O}_2/\text{uur} \dots (3)$$

Onder dezelfde omstandigheden en in hetzelfde temperatuurgebied geldt voor de doorlating van stikstof:

$$m = 1,75 \cdot 10^{-3} e^{-12600/T} \text{ gram N}_2/\text{uur} \dots (4)$$

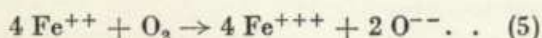
Deze doorlating treedt op, doordat zuurstof en stikstof een zekere, zij het ook kleine, oplosbaarheid in het kwartsglas bezitten. Er kan hierdoor een diffusiestroom van de ene naar de andere zijde ontstaan. Op het eerste gezicht zou men kunnen menen, dat dit voor het booglassen ernstige consequenties heeft. Zelfs voor een temperatuur van 2500 °K vindt men echter met behulp van de formules (3) en (4) doorlatingen van de orde van grootte van slechts 10^{-5} gram per uur. We durven natuurlijk geenszins beweren, dat een dergelijke grote extrapolatie geoorloofd is, maar zelfs al zou de doorlating bij 2500 °K bijv. een factor 100 groter zijn dan de hier gevondene, dan zou zij, gezien de omstandigheden bij het electrisch lassen, toch nog onbetekenend zijn.

In de samengestelde slakken die in werkelijkheid bij het electrisch lassen gebruikt worden, en waarop we hieronder nog uitvoerig zullen ingaan, kunnen

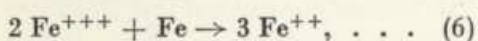
⁵) Voor deze berekeningen wordt verwezen naar een artikel, dat binnenkort in de Philips Research Reports zal verschijnen.

echter een veel grotere oplosbaarheid en een veel grotere permeabiliteit optreden. Bovendien is de viscositeit der in de techniek toegepaste slakken bij hoge temperaturen zo klein, dat ook stromingen in de slak het transport van gas aanzienlijk kunnen versnellen.

Zodra de slak een hoeveelheid FeO in oplossing bevat (en volgens tabel I is dit in de evenwichtstoestand zelfs reeds het geval indien we van zuiver Fe en zuiver SiO_2 bij afwezigheid van een gasfase uitgaan) kan het transport van zuurstof ook nog via een geheel ander mechanisme tot stand komen. Aan het buitenoppervlak van de slak kan namelijk voortdurend zuurstof chemisch worden gebonden, waarbij tweewaardig ijzer in driewaardig overgaat. We kunnen deze reactie beschrijven met de vergelijking:



Aan het grensvlak slak-metaal kan omgekeerd voortdurend driewaardig ijzer weer worden gereduceerd tot tweewaardig:



waarbij ijzer uit het metaal in de slak overgaat. In de vloeibare slak zal dan een voortdurend transport (door stromingen en diffusie) plaats vinden, waarbij ferro-ionen (Fe^{++}) zich buitenwaarts en ferri-ionen (Fe^{+++}) en zuurstofionen zich binnenwaarts bewegen. Ook electronen kunnen een bijdrage tot dit transportmechanisme leveren, doordat SiO_2 bij de beschouwde hoge temperaturen reeds een zeker geleidingsvermogen voor electronen bezit. De beweging der ferri-ionen binnenwaarts kan dientengevolge geheel of gedeeltelijk worden vervangen door een beweging van electronen in de tegengestelde richting.

De verschillende besproken processen leiden er toe, dat het gehalte aan ijzeroxyde van de slak voortdurend stijgt en dat, indien genoeg tijd ter beschikking is, ten slotte al het ijzer als oxyde in de slak zou worden opgenomen.

Bekeken van de ligging der evenwichten biedt een slak dus in het geheel geen bescherming, zoals trouwens van te voren reeds kon worden ingezien. De eindtoestand is steeds de volledige oxydatie van het ijzer. In feite bieden slakken echter wel degelijk een bescherming tegen oxydatie omdat de reactietijd bij het lassen slechts zeer kort is, waardoor we ver verwijderd blijven van evenwichtstoestanden. Bovendien voegt men aan de slakkenvormende bekledingen der lasstaven gewoonlijk reducerende metaalpoeders toe, zoals ferrosilicium (45% Si -55% Fe), ferromangaan (80% Mn -20% Fe) en

ferrotitaan (25% Ti -75% Fe), die de in de slak binnendringende zuurstof binden en, indien in voldoende hoeveelheid toegevoegd, zelfs een neergesmolten metaal leveren met hogere gehalten aan Si en Mn dan die van de kerndraad. Hiermede zijn we echter reeds op het terrein der in de techniek toegepaste slakken gekomen, waarop we in het volgende nog nader zullen ingaan.

Samengestelde slakken

We hebben ons in de beide voorgaande paragrafen bij het bespreken van de bescherming die door een bekleding wordt geboden, beperkt tot slakken, die geheel uit SiO_2 bestaan of, na reactie met het vloeibare ijzer, uit SiO_2 plus een weinig FeO . Wij kozen deze weg, omdat hij een min of meer quantitative behandeling toeliet en SiO_2 een essentieel bestanddeel is van alle in de techniek toegepaste slakken.

In werkelijkheid is het echter niet mogelijk om te lassen met staven die voorzien zijn van een bekleding welke bijna uitsluitend uit SiO_2 bestaat. Door het hoge smeltpunt zou deze bekleding niet gelijkmatig met het metaal afsmelten, maar als een steeds langer wordende buis blijven staan, waardoor ten slotte de afstand tussen kerndraad en werkstuk te groot zou worden en de boog zou doven. Het is daarom noodzakelijk om van bekledingen gebruik te maken die behalve SiO_2 nog andere oxyden bevatten.

Wij willen hier enkele experimenten vermelden met mengsels die slechts uit drie van deze oxyden, namelijk SiO_2 , CaO en Al_2O_3 , bestaan ⁶⁾. Deze laten zien, dat zich tussen de componenten van de slak tijdens het lassen al evenmin een evenwichtstoestand instelt als tussen metaal en gasatmosfeer (vergelijk het voorgaande en het onder ¹⁾ geciteerde artikel).

In het genoemde systeem treden twee ternaire verbindingen op, namelijk anorthiet $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) met een smeltpunt van 1550 °C en gehleniet $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) met een smeltpunt van 1590 °C.

Deze verbindingen vormen een quasi-binair systeem met een eutecticum bij 1385 °C. Men vergelijk het diagram in *figuur 3*.

Voor het uitvoeren van de lasexperimenten werden staven van vloeistaal (diameter 4 mm) voorzien van bekledingen met de samenstelling 30 gew. % CaO ; 37 gew. % Al_2O_3 ; 33 gew. % SiO_2 , d.i. de samenstelling van het genoemde eutecticum. Dit werd op drie manieren verwezenlijkt, namelijk:

⁶⁾ Niet gepubliceerde experimenten van J. L. Meyering en W. P. van den Blink.

- door bekleding met een mengsel van CaCO_3 , Al_2O_3 en SiO_2 ,
- door bekleding met een mengsel van anorthiet en gehleniet, beide verkregen door CaCO_3 , Al_2O_3 en SiO_2 in de met deze verbindingen corresponderende verhoudingen te mengen en afzonderlijk gedurende lange tijd op 1340°C te sinteren ⁷⁾,
- door bekleding met een eutectisch mengsel, dat was verkregen door CaCO_3 , Al_2O_3 en SiO_2 in de juiste verhouding in een oven te smelten.

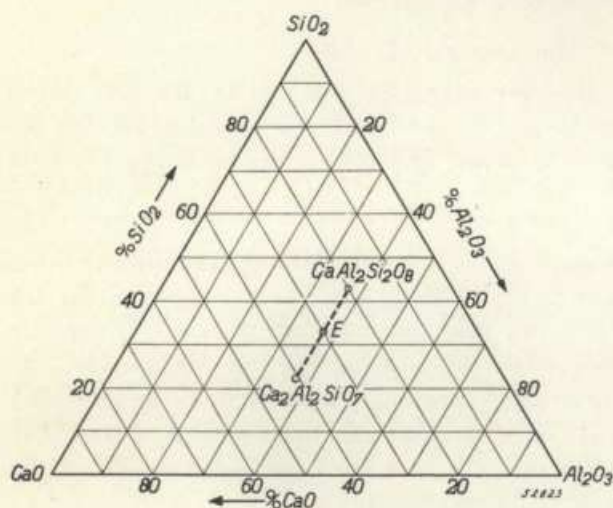


Fig. 3. In het ternaire diagram SiO_2 - CaO - Al_2O_3 treden twee congruent smeltende ternaire verbindingen op, nl. anorthiet ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) en gehleniet ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$). Deze vormen een quasi-binair systeem met een eutecticum E bij 1385°C (zie de stippellijn).

Bij het lassen met de aldus beklede staven gaven die met bekleding a) een slak met een veel te geringe viscositeit. De viscositeit nam echter sterk toe in de volgorde a)-b)-c), en de uit bekleding c) gevormde slak voldeed, wat viscositeit betreft, reeds bijna aan de door de praktijk gestelde eisen. Van een technisch bruikbare slak was echter zelfs in geval c) nog geen sprake, o.a. omdat de slak het metaal niet voldoende bevochtigde. Hij vertoonde de neiging zich in afzonderlijke druppels samen te trekken (vergelijk de volgende paragraaf). Dit was een der oorzaken van de grote porositeit der lasrupsen, die bij deze proeven werden verkregen.

Het grote verschil in viscositeit tussen de drie besproken slakken met dezelfde bruto samenstelling leidt tot de reeds vermelde conclusie, dat zich gedurende de korte tijd van het lassen ook in de slakken geen evenwichtstoestand kan instellen.

In overeenstemming hiermede constateerde McCaffery ⁸⁾ bij het meten van de viscositeiten van gesmolten mengsels van CaO , SiO_2 en Al_2O_3 , dat de viscositeit na het smelten een zekere tijd (soms wel een uur) nodig had om een constante waarde te bereiken. Men zou kunnen denken, dat zich bij de beschreven lasproeven bij toepassing van bekleding a) een metastabiele eutectische vloeistof vormt met een geringe viscositeit en dat een veel langere tijd nodig zou zijn geweest om de viscositeit door de vorming van anorthiet- en gehleniet-moleculen te doen stijgen.

We zullen in de volgende paragrafen de in de techniek toegepaste mengsels in beschouwing nemen. Hiertoe is het gewenst eerst na te gaan welke eisen aan deze mengsels moeten worden gesteld. Tevens zal het nodig zijn een scherper onderscheid te maken tussen bekleding en slak, omdat, zoals in het voorgaande reeds tot uiting kwam, bij het smelten zowel in de bekleding zelf als tussen de bekleding (resp. de slak) en het metaal chemische reacties kunnen optreden. Tussen bekleding en slak kunnen dientengevolge grote verschillen in chemische samenstelling bestaan.

Aan technische bekledingen resp. slakken te stellen eisen

De hiervoor besproken slakken voldoen, zoals we zagen, nog niet aan door de praktijk te stellen eisen. Van deze eisen kwam bovendien nog pas een klein gedeelte ter sprake.

Behalve aan de in het voorgaande behandelde, moeten de bekleding en de slak nog beantwoorden aan de hieronder opgesomde voorwaarden. De onder (a) - (d) besprokene hebben vooral betrekking op de bekleding, de andere in hoofdzaak op de slak.

a) Kelkvorming

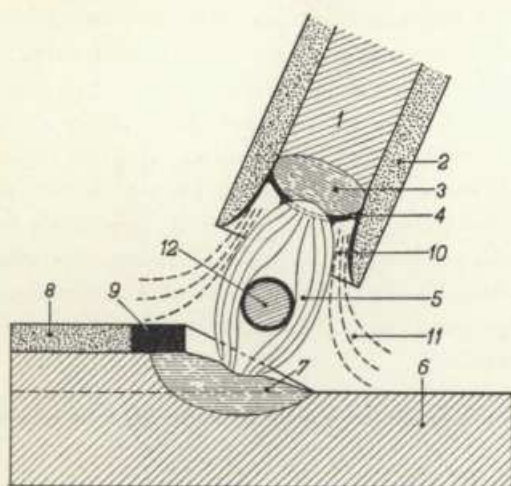
Zoals uit het voorgaande blijkt (zie het begin van de vorige paragraaf) is een eerste eis die aan de bekleding moet worden gesteld, dat ze een zo laag gelegen smelttraject heeft, dat ze bij het lassen niet een te lange kelk vormt, maar bij het afsmelten slechts betrekkelijk weinig achterblijft bij de metalen kern. Dit wordt geïllustreerd door fig. 4, die een schematische voorstelling geeft van het lassen met beklede staven. Het smelttraject mag echter ook weer niet zo laag liggen, dat de kelkvorming geheel achterwege blijft. De kelk heeft nl. de nuttige functie om richtend te werken op de boog en op de stroom druppeltjes die zich van de lasstaaf naar het werkstuk bewegen. Een gunstige kelkvorming wordt verkregen, wanneer het smelttraject in de buurt van 1200 tot 1300°C ligt.

⁷⁾ We mogen wel aannemen, dat de oxyden zich gedurende de sintering niet volledig in de verbindingen hebben omgezet.

⁸⁾ R. S. McCaffery, Trans. A.I.M.E. (Iron and steel division) **100**, 64-140, 1932.

b) *Lassen zonder onderbrekingen*

De staven moeten behalve voor lassen met gelijkstroom in vele gevallen ook met wisselstroom kunnen worden gebruikt, hetgeen bij onbeklede elektroden vrijwel onmogelijk is. Het automatisch herontsteken van de boog na ieder stroomloos moment bij het gebruik van wisselstroom hangt ten nauwste samen met de elektronenemissie van bepaalde bestanddelen van de bekleding.



52616

Fig. 4. Schematische voorstelling van het lassen met een beklede staaf (vgl. J. Sack, Philips techn. T. 2, 129-135, 1937). 1 kern van de lasstaaf, 2 bekleding, 3 vloeibaar metaal, 4 vloeibare slak, 5 elektrische boog, 6 werkstuk, 7 pool, 8 gestolde slak, 9 vloeibare slak, 10 kelk, 11 beschermende gassen, 12 met slak bedekte druppel.

c) *Hechting tussen las- en grondmetaal*

Om zeker te zijn van een hechte verbinding tussen lasmetaal en grondmetaal stelt men bepaalde eisen aan de diepte waarover het grondmetaal tijdens het lassen smelt, de hierboven reeds genoemde inbranding. Zoals wij hiervoor reeds zagen, houdt de diepte van de inbranding direct verband met de ontwikkeling van gassen door bepaalde bestanddelen van de bekleding tijdens het lassen.

d) *Mechanische eigenschappen van de las*

In sommige gevallen stelt men aan de bekleding de eis, dat zij een legerende werking uitoefent, waardoor het neergesmolten metaal rijker aan bepaalde legeringsbestanddelen (gewoonlijk Mn en Si) is dan de oorspronkelijke kerndraad. Men stelt deze eis om lassen met speciale mechanische eigenschappen te verkrijgen. Het zal duidelijk zijn, dat deze legerende werking pas volledig tot zijn recht kan komen, indien de bekleding van een zodanige samenstelling is, dat zij voldoet aan de primaire eis omtrent de beschermende werking tegen zuurstof en stikstof, dwz. indien zij ook zonder le-

gerende werking reeds tot zeer goede mechanische eigenschappen zou leiden.

e) *Viscositeit van de slak*

De viscositeit van de uit de bekleding gevormde slak mag niet te groot zijn, zoals bijv. wel het geval is bij slakken met een zeer hoog gehalte aan SiO_2 . De viscositeit mag echter ook weer niet te klein zijn, want dan zou de slak (vooral bij verticale en staande hoeklassen) te gemakkelijk van de las aflopen, waardoor het nog te hete metaal het gevaar zou lopen aan de inwerking van zuurstof en stikstof te worden blootgesteld.

f) *Spreiden van de slak*

De slak mag zich ook niet in druppels samen-trekken. De voorwaarde, dat een druppel slak zich over vloeibaar ijzer uitspreidt, wordt gegeven door:

$$\sigma_{\text{Fe}} > \sigma_{\text{slak}} + \sigma_{\text{Fe-slak}} \dots \dots (7)$$

waarin σ_{Fe} en σ_{slak} de oppervlaktespanningen van ijzer en slak zijn en $\sigma_{\text{Fe-slak}}$ de grensvlakspanning ijzer-slak. Wordt nl. aan (7) voldaan, dan daalt de vrije energie bij het spreiden. De oppervlaktespanning van de slak en de grensvlakspanning metaal-slak moeten dus betrekkelijk klein zijn. Dit spreiden komt ook aan het uiterlijk van de las ten goede.

g) *Loslaten van de slak*

De slak moet een uitzettingscoëfficiënt hebben die zoveel mogelijk verschilt van die van het metaal, waardoor hij bij het afkoelen gemakkelijk, liefst vanzelf, loslaat. Dit wordt ook bevorderd door een eventuele porositeit van de slak.

h) *Diverse eisen*

Verder stelt men nog diverse eisen, o.a. dat de staven in alle posities verlasbaar zijn en dat de lassnelheid groot is.

De eisen (a)-(h) zijn zo talrijk en uiteenlopend, dat het onmogelijk is aan alle tegelijk te voldoen, zelfs met een bekleding die uit vele componenten bestaat. Het ontwikkelen van een bekleding voor lasstaven draagt daardoor altijd het karakter van een compromis. Men zal van verschillende typen van lasstaven gebruik maken al naarmate de ene of de andere groep van eisen meer op de voorgrond treedt. Hieronder bespreken wij vier van de belangrijkste typen, die wij gemakshalve met A, B, C en D zullen aanduiden. Vooraf merken wij nog op, dat bij vrijwel alle toegepaste typen de bekledingsstoffen worden gebruikt in de vorm van fijne poeders, welke met behulp van kali- of natronwaterglas met een hoog SiO_2 -gehalte op de staven worden aangebracht.

De verschillende typen van lasselectroden

Type A (bijv. Ph 46). Bij de eenvoudigste typen lasstaven met anorganische bekledingen bestaan de bekledingspoeders voor een belangrijk gedeelte uit kwarts en natuurlijke silicaten (talk $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$; kaolien $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$; asbest $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$, enz.). Om het smelttraject en de viscositeit te verlagen worden hieraan toegevoegd ijzeroxyden (hematiet Fe_2O_3 ; magnetiet Fe_3O_4) en mangaanoxyden (pyrolusiet MnO_2 ; hausmanniet Mn_3O_4) en eventueel nog titaanoxyde (rutiel TiO_2). Ter bevordering van de electronen-emissie en tevens voor het verkrijgen van een gasstroom (zie eis c) worden nog aardalkalicarbonaten (kalkspaat CaCO_3 , magnesiet MgCO_3 en dolomiet $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) toegevoegd.

Door het hoge gehalte aan ijzeroxyde der met deze staven verkregen slakken is de oxydatie van het lasmetaal bijna even grondig als bij gebruik van onbeklede elektroden. Er worden zuurstofgehalten in de las bereikt die vergelijkbaar zijn met de in tabel I van het onder ¹⁾ geciteerde artikel vermelde gehalten voor onbeklede staven, terwijl de gehalten aan C, Mn en Si tot bijna even lage waarden dalen. De mechanische eigenschappen van de lassen zijn bij gebruik van deze staven dan ook slecht, vergeleken met de eigenschappen die bij gebruik van de hieronder vermelde typen B, C en D worden verkregen. Ten gevolge van een veel lager stikstofgehalte van het neergesmolten metaal zijn de mechanische eigenschappen echter reeds aanzienlijk beter dan die verkregen met onbeklede elektroden.

Staven van type A worden speciaal gebruikt in die gevallen waarin de mechanische sterkte van ondergeschikt belang is, maar waarbij vooral prijs wordt gesteld op gemakkelijk lassen en een fraai uiterlijk der verkregen rupsen (bijv. bij lassen van dun plaatwerk en voor zeer lichte constructies). Inwendig bezitten de lassen poriën als gevolg van de reactie tussen zuurstof en koolstof in het gesmolten metaal.

Type B (bijv. Ph 50). Om lasstaven te verkrijgen die metaal deponeren met betere mechanische eigenschappen, worden belangrijke hoeveelheden ferromangaan en ferrosilicium aan de bekledingen toegevoegd. Van chemisch standpunt beschouwd is deze oplossing van het probleem een merkwaardig compromis, want de bekleding bevat nu zowel oxyderende als desoxyderende stoffen. De exotherme chemische reactie tussen deze stoffen levert echter een bijdrage tot het snel „verlasbaar” zijn van deze staven. De mechanische eigenschappen van het neergesmolten metaal zijn voor de meeste toepassingen ruimschoots voldoende. Het zuurstofgehalte is echter nog vrij hoog (ca 0,12 gew. % O). Een

verdere verbetering der mechanische eigenschappen is daarom nog mogelijk.

Type C (bijv. Ph 55). Wil men ten slotte lassen verkrijgen met bijzonder goede mechanische eigenschappen, dan dient het gebruik van ijzeroxyden in de bekleding geheel te worden vermeden. De slak mag slechts oxyden bevatten, waarvan de vormingswarmte ΔH per gramatoom zuurstof (beter: de vrije vormingsenthalpie ΔG) zeer groot is. In aanmerking komen bijv. de oxyden van tabel II. Ter vergelijking vermelden wij, dat ΔH en ΔG voor Fe_2O_3 en Fe_3O_4 tussen -67 en -60 kcal per gramatoom zuurstof liggen ⁹⁾.

Tabel II ⁹⁾. Hoog smeltende oxyden met een grote vormingswarmte ΔH en een overeenkomstige vrije vormingsenthalpie ΔG .

Oxyde	ΔH	ΔG
	kcal per gramatoom O	
Al_2O_3	-131	-124
BeO	-145	—
BaO	-133	-126
CaO	-152	-144
MgO	-146	-138
SiO_2 (kwarts)	-104	- 97
TiO_2	-112	-106
ZrO_2	-129	—

Als vloeimiddel wordt bij dit type van staven vloeispaat CaF_2 aan de bekleding toegevoegd. Het meest gebruikte type van staven uit deze categorie heeft een bekleding die behalve uit waterglas in hoofdzaak uit $\text{CaF}_2 + \text{CaCO}_3$ bestaat, terwijl tevens ferromangaan + ferrosilicium + ferrotitaan zijn toegevoegd. De hoeveelheden hiervan zijn in de regel zodanig, dat het gehalte aan Mn en Si van de las groter is dan dat van de kerndraad, waardoor een grote mechanische sterkte en taaiheid wordt verkregen (vgl. eis d). Het O-gehalte van het neergesmolten metaal bedraagt nog slechts 0,03%.

Een nadeel aan het gebruik van deze staven verbonden, is het veelvuldig doven bij gebruik van wisselstroom, tenzij een lasapparaat met een gevaarlijk hoge nullastspanning wordt gebruikt. Het doven bleek vooral te worden bevorderd door het in de bekleding aanwezige calciumfluoride en kon worden opgeheven door er voor te zorgen, dat deze stof in mindere mate de gelegenheid krijgt om in de onmiddellijke nabijheid van de brandvlek van de lasboog te komen. Dit laatste werd bereikt door de bekleding in twee of meer lagen om de staven

⁹⁾ In aansluiting aan een steeds meer veld winnend internationaal gebruik noemen we een aan een systeem toegevoerde hoeveelheid warmte (of arbeid) positief. Als gevolg van deze afspraak heeft een exotherme chemische reactie een negatieve reactiewarmte.

aan te brengen, zodanig dat het calciumfluoride in hoofdzaak in de buitenste laag aanwezig is. Een dergelijke „schilstaaf” wordt door Philips in de handel gebracht onder het nummer Ph 56. Deze staaf kan op wisselstroom worden gebruikt bij een nullastspanning van ca 60 volt zonder dat het hinderlijke doven van de boog optreedt.

Type D (bijv. Ph 48). Dit type staven bevat in de bekleding grote hoeveelheden organische stoffen, die tijdens het lasproces veel gas ontwikkelen en daardoor de zuurstof en stikstof van het metaal verwijderd houden. Tevens zijn steeds slakkenvormende anorganische stoffen in de bekledingen aanwezig, waarop de beschouwingen van toepassing zijn die bij het bespreken van de typen *A*, *B* en *C* werden gehouden. Het O-gehalte van het neergesmolten metaal ligt bij elektroden van het type *D* tussen dat van de typen *B* en *C* in.

Als kerndraad wordt bij al deze vier typen van lasstaven in de regel een draad van zacht staal gebruikt. De verschillen tussen de onderscheidene typen en de daarbij neergesmolten metalen berusten bijna uitsluitend op het verschil in bekleding. Voor speciale doeleinden zijn ook lasstaven in de handel waarvan de kerndraad een geheel andere samenstelling heeft. Deze blijven hier echter buiten beschouwing.

Een nadeel, verbonden aan het lassen met de beschreven typen van staven is, dat de lasser steeds nauwkeurig een bepaalde booglenkte (ca 3 mm) moet aanhouden. Wordt de booglenkte te groot, dan krijgt men een las met een onregelmatig uiterlijk en onvoldoende inbrandingsdiepte, terwijl tevens de spatverliezen groot zijn. Bij te kleine booglenkte „vriest” de lasstaaf aan het werkstuk vast. Vooral bij dikke staven is het aanhouden van de juiste booglenkte moeilijk.

In de modernste typen van lasstaven wordt dit bezwaar ondervangen door een belangrijk gedeelte van het te verlassen ijzer in de vorm van een poeder in de bekleding onder te brengen. Men krijgt hierdoor een bekleding van een zodanige dikte en sterkte, dat de staven „slepend” verlast kunnen worden. Voor een uitvoeriger bespreking van deze zg. „Contact”-lasstaven verwijzen wij naar een tweetal artikelen in dit tijdschrift¹⁰⁾.

¹⁰⁾ P. C. van der Willigen, Philips techn. T. 8, 161-167 en 304-309, 1946. In deze artikelen worden tevens verscheidene andere voordelen opgesomd, die aan het lassen met contact-electroden zijn verbonden. De „Contact”-lasstaven, corresponderende met de typen Ph 48, Ph 50 en Ph 55, dragen de merken C 18, C 20 en C 15 (C = contact).

Het opnemen van stikstof bij het electrisch lassen

Merkwaardigerwijze blijkt het stikstofgehalte van het neergesmolten metaal als functie van het staaftype zich in dezelfde richting te bewegen als het zuurstofgehalte. Als karakteristiek voorbeeld vermelden wij, dat met de Ph 55 en de Ph 56 (type *C*) metaal wordt verkregen met 0,03% O en 0,01% N, terwijl de Ph 50 (type *B*) metaal geeft met 0,12% O en 0,03% N. Dit schijnt er op te wijzen, dat de slak van het laatste type gemakkelijker stikstof uit de lucht opneemt en aan het metaal doorgeeft dan de slak van het eerste type.

Het uiterlijk van de slakken wijst in dezelfde richting. Terwijl de Ph 55 een dichte, kristallijne slak geeft, produceert de Ph 50 tijdens het lassen een slak die zeer poreus en glasachtig is. Dit doet vermoeden, dat deze slak bij hoge temperaturen een grote oplosbaarheid voor gassen bezit, waarvan een gedeelte tijdens het afkoelen vrijkomt en de porositeit veroorzaakt. Dat oxydische massa's van vergelijkbare samenstelling onder bepaalde omstandigheden grote hoeveelheden gas kunnen oplossen, is bekend uit de vulcanische verschijnselen¹¹⁾.

Als stikstof één der in de Ph 50-slak goed oplosbare gassen was, dan zouden we op deze wijze misschien een verklaring hebben voor het betrekkelijk hoge stikstofgehalte der met staven van dit type gelegde lassen. Om deze vermoedens te toetsen werden hoeveelheden slak van de Ph 50- en Ph 55-staven na het lassen in poeder omgezet (om de complicatie van in poriën aanwezige gassen te vermijden) en in platina-kroesjes in vacuum hoogfrequent verhit. De bij het smelten der slakken vrijkomende gassen werden afgepompt en geanalyseerd. Uit de slak van de Ph 50 kwam onder sterk opschuimen ca 2 cm³ gas (van 0 °C en 1 atm) per gram slak vrij. De slak van de Ph 55 schuimde niet en ontwikkelde slechts een fractie van de genoemde hoeveelheid gas. Tabel III vermeldt de samenstelling van deze gassen voor zover zij niet bij -80 °C condenseerbaar waren (het gehalte aan waterdamp werd dus niet bepaald).

Tabel III. Samenstelling der uit slakken van de lasstaven Ph 50 en Ph 55 bij het smelten vrijkomende gassen (in volume-percenten).

Gas	Ph 50 vol. %	Ph 55 vol. %
CO ₂	2	46
CO	23	51
CH ₄	5	—
H ₂	60	1
N ₂	10	2

Deze cijfers mogen wel als een bevestiging worden beschouwd van het hiervoor uitgesproken vermoeden, dat het hogere stikstofgehalte van het neergesmolten metaal van de Ph 50 samenhangt met een grotere oplosbaarheid van dit gas in de slak.

¹¹⁾ Vgl. bijv. P. Niggli, Das Magma und seine Produkte, Teil 1, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1937.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gratis overdrukken. Van de publicaties die met een sterretje * zijn gemerkt, is echter geen voor verspreiding voldoende aantal overdrukken beschikbaar.

1755*: J. A. Haringx: Over sterk samendrukbare schroefveren en rubberstaven en over hun toepassing bij trillingsvrije opstellingen (Diss. Delft 1947).

Een Engelse vertaling van deze dissertatie verschijnt onverkort in Philips Res. Rep. Een deel is behandeld in Philips techn. T. **9**, 16-23 en 85-90, 1947, No. 1 en 3.

1756: Balth. van der Pol: Wiskunde en radio-problemen (Simon Stevin, Groningen, **25**, 179-198, Dec. 1947).

Inhoud van een voordracht, gehouden voor het „Mathematisch Centrum” te Amsterdam. De spreker behandelt het gebrek aan wederzijds begrip tussen technici, physici en mathematici, die ieder een eigen „taal” spreken. Behandeld worden: de δ -functie van Dirac en de Stieltjes-integralen, het O-symbool van Landau, de determinanten van Hurwitz en de stabiliteit van lineaire systemen, de golfvergelijking (buiging van lichtstralen om een bol, van radiogolven om de aarde), kettingbreuken in verband met elektrische filters, niet-lineaire differentiaalvergelijkingen bij trillingskringen, moderne rekenmachines.

1757: C. J. Bouwkamp: On spheroidal wave functions of order zero (J. Math. Phys. **26**, 79-92, 1947, No. 2).

Overzicht van een gedeelte der resultaten van de dissertatie van de schrijver: „Theoretische en numerieke behandeling van de buiging door een ronde opening”, Groningen, 1941. Berekening van eigenwaarden en eigenfrequenties, die optreden bij separatie van de golfvergelijking in elliptische coördinaten met omwentelingssymmetrie. Aan het slot tabellen van numerieke waarden.

1758: D. Polder: Nature of the hydrogen bond in potassium hydrogen fluoride (Nature **160**, 870, 1947, Dec. 20).

Volgens Ketelaar is het doublet 1450 en 1222 cm^{-1} in het infrarode absorptiespectrum van vast KHF_2 te wijten aan een verdubbeling van de fundamentele asymmetrische grondfrequentie ν_3 , behorend bij de trilling van een proton tussen twee F-ionen, ten gevolge van een dubbel minimum in

de potentiaalkromme (analoog aan hetgeen in het NH_3 -molecuul optreedt). Deze onderstelling wordt getoetst door een meting van de temperatuurcoëfficiënt van de dieëlectrische constante $\epsilon^{-1} d\epsilon/dT$. Hiervoor wordt gevonden $2 \cdot 10^{-4}$ tussen 80 °K en 300 °K, terwijl uit de gegevens van Ketelaar een negatieve temperatuurcoëfficiënt tussen -0,01 en -0,001 zou volgen.

1759: C. J. Bouwkamp: A study of Bessel functions in connection with the problem of two mutually attracting circular discs (Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam **50**, 485-497, 1947, No. 9).

De potentiële energie wordt berekend in het geval van twee coplanaire homogene cirkelvormige schijven waarvan de massapunten ten opzichte van elkaar een potentiële energie $V(r)$ hebben, afhankelijk van de afstand r dier punten. Dit probleem wordt opgelost met behulp van Bessel-functies. In het bijzonder wordt het geval $V(r) \sim r^{-n}$ bekeken ($n = 1$, gravitatie; $n = 6$, Van der Waals-London).

R 66: K. F. Niessen: Indication of landing courses independent of weather conditions (Philips Res. Rep. **3**, 1-12, 1948, No. 1).

Er wordt nagegaan hoe men aanvliegbanen met kleine elevatie kan markeren met behulp van radiosignalen, zodanig dat de indicaties onafhankelijk zijn van veranderingen in de elektrische constanten van de bodem (bijvoorbeeld ten gevolge van regen- of sneeuwval). In dit artikel worden alleen oneindig kleine dipolen op ongelijke hoogte beschouwd.

R 67: A. van der Ziel en A. Versnel: Induced grid noise and total emission noise (Philips Res. Rep. **3**, 13-23, 1948, No. 1).

In trioden die door ruimtelading begrensd zijn, geven de fluctuaties in het aantal electronen dat voldoende energie heeft om het potentiaalminimum te passeren, door middel van influentie aanleiding tot een ruisstroom naar het rooster (inductiegeruis). De fluctuatie in het aantal electronen dat vóór het

potentiaalminimum terugkeert, geeft aanleiding tot een ruisstroom van kathode naar rooster (totale-emissie-geruis). Er worden metingen beschreven van de resonantiekromme van het geruis aan het ingangscircuit van een penthode bij 7,25 m golflengte. De optredende asymmetrie is toe te schrijven aan de fase-relatie tussen de beide geruissoorten. Verder wordt aangetoond, dat voor dioden in het aanloopstroomgebied het totale emissiegeruis kan worden beschreven door aan te nemen, dat de equivalente geruistemperatuur van de emissie-conductantie gelijk is aan de kathode-temperatuur.

R 68: B. D. H. Tellegen: The determination of the integration constants when calculating transient phenomena (Philips Res. Rep. 3, 24-36, 1948, No. 1).

Engelse vertaling van een reeds vroeger verschenen artikel (zie deze overzichten, No. 1700).

R 69: H. J. Lindenhovius en J. C. v. d. Breggen: The measurement of permeability and magnetic losses of non-conducting ferromagnetic material at high frequencies (Philips Res. Rep. 3, 37-45, 1948, No. 1).

Er wordt een methode beschreven om snel en nauwkeurig de permeabiliteit en de magnetische verliezen van niet-geleidend ferromagnetisch materiaal te bepalen. Voor frequenties tussen 30 en 300 Mper/sec maakt deze methode gebruik van een dooskring met eind-capaciteit die nauwkeurig is afgestemd op de frequentie van een daarmee gekoppelde oscillator. Men meet de veranderingen in de resonantiefrequentie van deze kring, indien concentrisch met de binnenste geleider achter-eenvolgens een ring van het te onderzoeken materiaal en een metalen ring in de doos worden aangebracht. De verhouding der beide frequentieveranderingen is gelijk aan de susceptibiliteit $\chi = \mu - 1$. De verliezen kunnen worden berekend uit de breedte van de resonantiepiek met en zonder de ferromagnetische ring. Voor frequenties boven 300 Mper/sec wordt in plaats van een dooskring een coaxiaal Lecher-systeem gebruikt. Enkele resultaten worden meegedeeld.

R 70: F. A. Kröger, J. M. Stevels en Th. P. J. Botden: The fluorescence of hexavalent uranium in glass (Philips Res. Rep. 3, 46-48, 1948, No. 1).

In glas kan 6-waardig uranium aanwezig zijn als uranylgroep of als uranaatgroep. De uranylgroepen geven aanleiding tot fluorescentie bij kamertemperatuur, terwijl bij lage temperatuur beide groepen fluorescentie veroorzaken. Er bestaat een direct verband tussen de emissiebanden en de bijbehorende absorptiebanden.

R 71: W. J. Oosterkamp: The heat dissipation in the anode of an X-ray tube. I. Introduction: Loads of short duration applied to stationary anodes (Philips Res. Rep. 3, 49-59, 1948, No. 1).

De levensduur van een röntgenbuis wordt veelal bepaald door de verdampingssnelheid van de pastille en dus door de hoge temperatuur daarvan tijdens de belasting. Voor een gegeven toevoer van energie aan het focus kan de temperatuur aan het oppervlak van de pastille berekend worden. De vereiste formules worden afgeleid en toegepast op het probleem van kortstondige belasting van buizen met stilstaande anode.

R 72: J. F. Klinkhamer: Empirical determination of wave-filter transfer functions with specified properties (Philips Res. Rep. 3, 60-80, 1948, No. 1).

Er wordt een methode beschreven om de transmissiefactor $z(\lambda) = e_u/e_i$ van een filter te bepalen met behulp van metingen in een electrolytische trog (e_u = uitgangsspanning, e_i = ingangsspanning, λ = complexe frequentieparameter). Tegelijkertijd worden andere functies besproken die eveneens van nut zijn bij de berekening van de filterwerking. De plaats van de doorlaatbanden, de toegelaten variatie van de demping in die banden en de plaats van en de minimale demping in de dempingsgebieden worden verondersteld gegeven te zijn. In het geval van één doorlaatband of van een aantal doorlatings- en dempingsbanden van gelijke kwaliteit, is de methode, wat haar resultaten betreft, gelijkwaardig aan die van Cauer. Zij is echter algemener.